Die Wissenschaft

Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien

Heft 15

HÖHLENKUNDE

MIT

BERÜCKSICHTIGUNG DER KARSTPHÄNOMENE

VON

DR. WALTHER VON KNEBEL



Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig

ANKÜNDIGUNG.

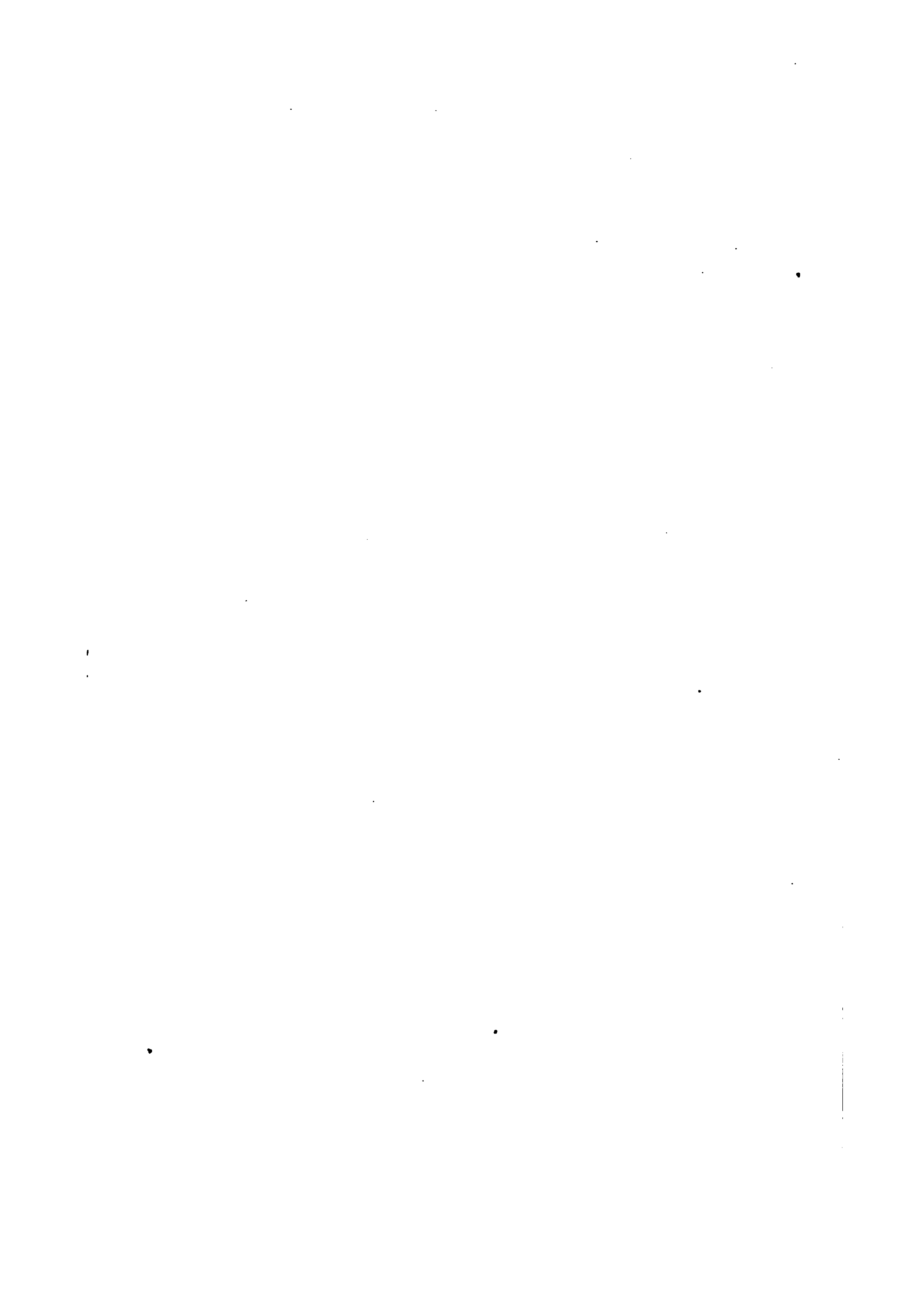
Der ... t einer
wissensc ... der da-
mit in Z ... wissen-
schaftlic ... orscher
sowohl, ... unserer
Kenntni ... wenig
und in ... iete ge-
geben w ... n Fort-
schritt ... werden.
— Dem ... n lange
erwünsc ... seinen
interess...

De ... Aufgabe
gemach ... nflüsse,
Dolinen ... ch ihre
Entsteh ... Höhlen-
ländern ... ve Dar-
stellung ... inzelnen
Problen ... „Für"
und „W ... e prak-
tische ... nomens
für die Bodenkultur dargetan und die kulturelle Verwertung verkarsteter Länder erörtert.

Braunschweig, im März 1906.

Friedrich Vieweg und Sohn.





DIE WISSENSCHAFT

SAMMLUNG
NATURWISSENSCHAFTLICHER UND MATHEMATISCHER
MONOGRAPHIEN

FÜNFZEHNTES HEFT

HÖHLENKUNDE

MIT

BERÜCKSICHTIGUNG DER KARSTPHÄNOMENE

VON

WALTHER VON KNEBEL
DR. PHIL.

MIT 42 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 4 TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1906

HÖHLENKUNDE

MIT

BERÜCKSICHTIGUNG DER KARSTPHÄNOMENE

VON

WALTHER VON KNEBEL

DR. PHIL.

MIT 42 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 4 TAFELN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1906

Published March 29, 1906.

VORWORT.

Die Höhlenkunde ist ein Teilgebiet der geographisch-geologischen Wissenschaft, welches auf wissenschaftlicher Grundlage noch wenig bearbeitet ist. Die Höhlenkunde stellt bisher noch einen Zweig der Forschung dar, in welchem man über eine Fülle unerörterter und ungelöster Probleme gleichsam zur Tagesordnung geschritten ist.

Zwar ist die auf Höhlenkunde bezügliche Literatur eine ganz beträchtliche. Aber die meisten Schriften sind einander sehr ähnlich; sie beschränken sich auf eine mehr oder weniger genaue Beschreibung der Höhlenräume, des darin enthaltenen Tropfsteinschmuckes und anderer Dinge; dann folgen gewöhnlich einige Spekulationen über Alter und Entstehungsart der Höhlen. Das Ganze gipfelt zumeist in einigen Bemerkungen über das Schaurigschöne der Grottenwelt oder über die Pracht der Stalaktiten.

Der Wissenschaft ist mit derartigen Darstellungen nur wenig gedient. Mit allgemeinen Beschreibungen, die gewöhnlich als „Höhlenforschungen“ betrachtet werden, schreitet die wissenschaftliche Höhlenkunde nicht vorwärts. Es sollte daher jedermann, dem die Gelegenheit geboten wird, in Gebieten sich aufzuhalten, in denen Höhlen vorkommen, sich nicht die Mühen verdrießen lassen, zuvor Studien über dieses interessante Gebiet der Wissenschaft zu machen. Jeder sollte sich über das Wesen der Höhlen-

kunde, ihren Zweck und ihre Aufgaben orientieren. Dann wird sich der Blick schärfen und die Beobachtungen jedes einzelnen werden Bausteine liefern zu einem Gebäude, das dermaleinst auf breiterer Basis als der bisherigen aufgebaut werden könnte.

Damit dies aber zustande komme, ist es erforderlich, daß den Beobachtern — ich meine hiermit nicht allein die Fachgelehrten — ganz bestimmte Direktiven gegeben werden. Nun existiert aber in der gesamten fachwissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Literatur kein Werk, das den wissenschaftlichen Zwecken und Aufgaben der Höhlenkunde wirklich gerecht wird. Selbst die umfangreichsten Lehrbücher der Geologie übergehen dieses Gebiet der Forschung mit wenigen Worten. Und es ist leicht zu verstehen warum. Sind doch die meisten Fragen der Höhlenkunde nur wenig erörtert, und selbst wo dies stattgefunden hat, da hat oftmals die zur Entwickelung eines jeden Wissenschaftszweiges so wichtige Diskussion gefehlt. Es haben sich eben zu wenig Gelehrte diesem Gebiete der Forschung hingegeben.

Der Verfasser hat während einer Reihe von Jahren sich mit dem Phänomen der Höhlenbildung befaßt; in den Höhlengebieten Süddeutschlands, dem Fränkischen und Schwäbischen Jura, im Rheinlande und im Österreichischen Karst hat er seine Studien gemacht. Die Beobachtungen erstreckten sich aber nicht allein auf die Höhlen selbst, sondern auf alle jene Begleitgebilde, welche unter dem Namen „Karstphänomene“ bekannt sind. Daher haben wir in unserer Darstellung nicht allein speziell das wichtigste Karstphänomen, die Höhlen, sondern auch die übrigen mit einbegriffen.

Da in eine Höhlenkunde aber nicht allein die Höhlen der Karstgebiete, sondern auch solche unverkarsteter Länder

gehören, so haben wir auch diese in den Bereich unserer Darstellungen gezogen.

Um möglichst allen, die sich mit dem Höhlenphänomen befassen, gerecht zu werden, haben wir schließlich auch die meteorologischen und biologischen Verhältnisse in den Höhlen in kurzem Abrisse beigefügt.

So ist denn die Aufgabe des vorliegenden Buches, eine, wenn auch nur kurze, so doch vollständige Übersicht über ein äußerst interessantes Gebiet der allgemeinen Geologie oder physischen Geographie zu geben. Möge es jedem — auch dem Nichtfachmanne — die Möglichkeit gewähren, seine Studien in Höhlen in rechte Bahnen zu leiten. Möge ein jeder sehen, wie sehr exakte Beobachtungen, namentlich über die Höhlenflüsse, die Temperatur- und Luftdruckverhältnisse usw. vonnöten sind. Wir wenden uns, wie gesagt, nicht nur an Fachleute. Der Fachgeologe wird zumeist wohl in richtiger Weise seine Beobachtungen machen, wenn auch bei ihm zuweilen schwere Täuschungen vorkommen. Wir erinnern beispielsweise an einen kostspieligen Versuch, der bei Königsbronn in Württemberg im Jahre 1904 von wissenschaftlicher Seite unternommen wurde, um auf Grund gänzlich unzulänglichen Beobachtungsmaterials durch Graben eines Stollens eine größere Höhle zu entdecken.

Die Höhlenkunde ist zu ihrem weiteren Ausbau auf Hilfskräfte angewiesen. Ist es doch dem Fachgelehrten nicht immer möglich, die Studien anderer nachzuprüfen und zu vervollständigen. Von wie hohem Nutzen ist z. B. der Alpensport für die Gletscherkunde geworden! Könnte nicht auch die wissenschaftliche Höhlenkunde durch den Touristen Bereicherung erfahren?

Dem Nichtfachmanne hoffen wir somit Anregung und Direktiven gewähren zu können. Dem Fachmanne aber, dem namentlich letzteres kaum nötig sein dürfte, dem glauben

wir eine schon sehr lange erforderliche kritische Darlegung des gesamten Karstphänomens bieten zu können. Es hat sich dabei mancherlei ergeben, was bisher wenig oder gar nicht berücksichtigt wurde.

Möchten die dargelegten Verhältnisse, die den Verfasser selbst auf das intensivste gefesselt haben, auch in anderen das Interesse erwecken, das sie verdienen. Möchten sie zu Beobachtungen Anlaß geben. Theorien vergehen wie die Welle im Meer, Beobachtungen aber behalten ihren Wert, so lange wenigstens, als die Kulturperiode, in der wir stehen, erhalten bleibt.

Zu großem Dank bin ich Herrn Dr. E. Wiedemann, ordentl. Professor a. d. Universität Erlangen, verpflichtet, welcher sich in freundlichster Weise der Mühe unterzogen hat, große Teile meines Manuskriptes durchzulesen und mich dabei auf mancherlei aufmerksam zu machen. Namentlich wertvoll wurde mir der Rat des genannten Herrn bei Durchsicht der mehr in das Gebiet der Physik fallenden Teile unserer Darstellung.

Gleichfalls schulde ich großen Dank der Verlagsbuchhandlung Friedr. Vieweg & Sohn, auf deren Anregung hin unsere Darstellung erfolgt ist und welche meinen Wünschen, namentlich in bezug auf Illustrationen, in so überaus bereitwilliger Weise Rechnung getragen hat.

Berlin, im März 1906.

Walther von Knebel.

INHALTSVERZEICHNIS.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.

Erstes Kapitel.

Einführung.

Höhlenkunde als Teil der physischen Geographie. — Entwickelung der Speläologie aus anderen Zweigen der Forschung: Anthropologie, Prähistorie. — Beziehungen der Höhlenkunde zu anderen Gebieten der Wissenschaft.

Die Morphologie der Erdoberfläche ist wohl eines der interessantesten Kapitel aus dem reichen Gebiete der physischen Geographie. Und die geologischen Vorgänge, deren Ergebnis die heutige Oberflächengestaltung unseres Planeten ist — sie zu studieren ist einer der bedeutsamsten Zweige geologisch-geographischer Forschung.

Die Höhlen, welche sich im Innern unserer Gebirge zahlreich finden, sind ein Produkt der an der Erdoberfläche und nahe unter derselben sich vollziehenden Vorgänge. Die Höhlen stehen in engstem Zusammenhange mit ganz bestimmten Landschaftsformen des Antlitzes der Erde. Die **Höhlenkunde** oder **Speläologie**[1]) bildet somit einen Abschnitt aus der Oberflächenmorphologie des Erdballes.

Ein den Geographen seit den ältesten Zeiten als äußerst eigenartig bekannter Landschaftstypus ist die Karstlandschaft. Der Karst[2]) ist durch eine Reihe merkwürdiger Naturerschei-

---

[1]) Vom Griechischen σπήλαιον (Höhle) und λόγος (Lehre).

[2]) Als Karst bezeichnet man im engeren Sinne das Hochplateau zwischen Triest und Laibach, welches den julischen Alpen im Süden vorgelagert ist. Da aber große Strecken der Balkanhalbinsel und andere Gebiete der Erde die gleiche Oberflächenform besitzen, so verbindet man mit dem Worte „Karst“ (im weiteren Sinne) einen ganz bestimmten geographischen Begriff für eine gewisse Oberflächenform — die „Karstlandschaft“.

nungen ausgezeichnet, welche wir später im Zusammenhang als „Karstphänomene" kennen lernen werden. Für jetzt genügt es, zu bemerken, daß das hauptsächlichste der Karstphänomene der erstaunlich große Reichtum an Höhlen in jenen Gebieten ist, und daß diese Höhlen der eigenartigen Karstlandschaft ihr Gepräge verleihen.

Eine allgemeine Höhlenkunde muß daher in erster Linie auf Studien in dem Gebiete sich stützen, in welchem das Höhlenphänomen am ausgeprägtesten sich findet. Genau ebenso, wie z. B. die gewaltigen mit Inlandeis bedeckten Gefilde Grönlands oder Spitzbergens stets den Ausgangspunkt für Studien zur Glazialgeologie bilden werden — genau ebenso muß man im Karst, als dem typischen Höhlenlande, in allererster Linie dem Höhlenproblem nachgehen.

Da nun im Karst alle jene als „Karstphänomene" zu bezeichnenden Eigentümlichkeiten mit dem Höhlenphänomen in so engem Zusammenhang stehen, daß sie nicht zu trennen sind, so ist auch eine Darstellung der Höhlenkunde, ohne gleichzeitige Berücksichtigung der Karstphänomene nicht möglich. **„Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene"** ist daher vorliegende Arbeit benannt worden.

Zahlreiche der in vielen Gegenden im Innern unserer Gebirge vorkommenden größeren oder kleineren Höhlen sind seit den ältesten Zeiten bekannt. Lange bevor der Mensch imstande gewesen war, ein eigenes Haus sich zu bauen, um darin den Unbilden des Wetters und den Angriffen wilder Tiere zu trotzen, hat er, wie untrügliche Spuren bezeugen, die natürlichen Höhlen als Wohnorte benutzt. Aber nicht allein die Menschen, sondern auch die größeren Tiere, zumeist Raubtiere, haben dies getan. Höhlenuntersuchungen haben ihre Knochenreste, sowie die Spuren ihrer Mahlzeiten oft in bedeutender Menge zutage gefördert.

Mit der Durchforschung der Höhlen nach den Überresten ihrer ehemaligen Bewohner begann die Wissenschaft, mit welcher wir uns hier befassen: die Höhlenkunde, auch Speläologie benannt (vom griech. *σπήλαιον* Höhle und *λόγος* die Lehre).

Die Namen Esper, Rosenmüller, Buckland werden unvergessen bleiben; denn sie waren es, welche zuerst in weiten Kreisen auf die Höhlen und deren Bedeutung für die Kenntnis des prähistorischen Menschen sowie der ehemaligen Tierwelt hin-

wiesen. Auch ihnen verdanken wir die ersten allgemein bekannt gewordenen Beschreibungen von Höhlen.

Mit dem Studium der in den Höhlen aufgefundenen Überreste der alten Höhlenbewohner und dem durch immer neue Höhlenfunde ständig wachsenden Interesse an Höhlen entwickelte sich ganz allmählich eine neue Frage, die nach der Entstehung der Höhlen.

Während man sich früher mit der Tatsache begnügte, zu wissen, daß in diesem oder jenem Gebirge sich Höhlen finden, und ein übriges zu tun glaubte, wenn man sie eingehend beschrieb, so ging man bald den Ursachen nach, welche die Höhlenbildung veranlaßt haben. Und damit begann die Höhlenkunde erst einen wissenschaftlichen Charakter anzunehmen.

Nur allmählich konnten die Anschauungen über die Entstehung der Höhlen sich von zahlreichen Irrtümern befreien.

Am Ende dieser Arbeit soll kurz auf die älteren Theorien eingegangen werden.

Die Lehre von der Entstehung der Höhlen ist jedenfalls als der Kernpunkt der heute als „Höhlenkunde" bezeichneten Wissenschaft zu betrachten. Die Höhlenkunde ist somit ein Zweig der Geologie.

Indessen macht der enge Zusammenhang der Höhlen mit der Morphologie der Erdoberfläche und mit der Hydrographie die Höhlenkunde doch wohl in erster Linie zu einem Teile der Geographie.

Die Ergebnisse der Höhlenforschung liefern ferner Beiträge zur Meteorologie, zur Paläontologie, zur Vorgeschichte des Menschen, zur Zoologie, zur Botanik und schließlich zur Bodenkulturlehre.

Die Beziehungen der Höhlenkunde zu allen diesen zuletzt genannten Wissenschaften treten aber gegenüber dem geologisch-geographischen Problem der Höhlenbildung selbst stark in den Hintergrund. Daher sollen in erster Linie die nachfolgenden Seiten der Lehre von der Entstehung der Höhlen gewidmet sein, während die Beiträge der Speläologie zu den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft ihrer geringeren Bedeutung entsprechend hier nur kurz behandelt werden können.

Zweites Kapitel.

Die Ursachen der Höhlenbildung.

Bedeutung des Höhlenphänomens. — Höhlenbildung. — Erosion. — Korrosion.

Die größte aller bis jetzt bekannten Höhlen ist wohl die Mammoth Cave in Kentucky. Sie besteht aus einer Reihe sich verästelnder Gänge, welche zusammen eine Länge von etwa 48 km besitzen [1]). Bei einer als Mittelwert angenommenen minimalen Höhe und Breite der Gänge von je sieben Yards (= 6,40 m) beträgt der Rauminhalt etwa zwei Millionen Kubikmeter.

Die größten Höhlen Europas befinden sich in dem Karstgebiete Krains. Ihre Größenverhältnisse sind weit geringer, als die der Mammuthöhle in Nordamerika; so beträgt die Gesamtlänge aller Gänge der Grotte von Adelsberg etwa 7 km, die der Planinagrotte 5 km. Aber auch diese Höhlen sind gewaltig genug, um dem Beschauer die Bedeutung des unterirdisch fließenden Wassers vor Augen zu führen. Denn das Wasser ist es, welches die Höhlen bildet.

Nur vereinzelt kommen Höhlen vor, welche nicht vom Wasser geschaffen sind; es sind die Höhlen, welche Fr. Kraus als ursprüngliche Höhlen bezeichnet hat [2]).

---

[1]) In den meisten Lehrbüchern der Geologie und Geographie wird die Gesamtlänge der Höhlengänge vielmal größer angegeben; und zwar soll dieselbe 240 km betragen. Diese vor 50 Jahren gemachte Angabe beruht jedoch nur „auf Schätzung derjenigen, welche die Höhle am besten kennen". (Report of the geological Survey in Kentucky 1854 und 1855 von David Dale Owen). Neuere Untersuchungen haben ergeben, daß all die Gänge dieser immerhin gewaltigen Höhlen zusammen nur 60 km, vielleicht sogar nur 48 km im Maximum lang sind (Spelunca Nr. 9).

[2]) F. Kraus hat in seiner „Höhlenkunde" die natürlichen Höhlen in zwei Gruppen eingeteilt:

1. in ursprüngliche Höhlen, welche ebenso alt sind, als das Gestein, in dem sie sich befinden;
2. in später gebildete Höhlen.

Das Wasser wirkt auf die Gesteine zerstörend und zwar in zweierlei Weise: mechanisch oder chemisch.

Die mechanische Zerstörung der Gesteine wird **Erosion** genannt[1]). Die von dem fließenden Wasser mitgeführten Gesteinsteile wirken mechanisch auf die Wandungen seines Bettes; dadurch werden kleine Teilchen abgerieben und somit wird das Bett erweitert: es wird erodiert. Auch die bewegte See wirkt auf die Gesteine der Küste erodierend und unter Umständen auch höhlenbildend. Wir werden jedoch sehen, daß die Erosion als Ursache der Höhlenbildung im allgemeinen nur eine geringe Rolle spielt.

Viel bedeutsamer ist hierfür die chemische, die Gesteine lösende Wirkung des Wassers, die **Korrosion.** Die Gesteine der Erdrinde sind alle in Wasser löslich; selbst bei den schwerst löslichen Gesteinen wird infolge der fortwährenden Erneuerung des Lösungsmittels doch im Laufe beträchtlicher Zeiten eine chemische Abtragung stattfinden können. Denn in langen Zeiträumen treten

---

Die beiden Klassen haben aber durchaus verschiedene Bedeutung, da zur Gruppe der ursprünglichen Höhlen nur wenige gehören, und auch von diesem ist es vielfach noch strittig, ob sie nicht zum Teil wenigstens als später gebildete anzusehen sind. Die Höhlen in Lavaströmen sind als echte „ursprüngliche Höhlen" zu bezeichnen. Ferner können ursprüngliche Höhlen als Blasenräume in Eruptivgesteinen entstanden sein. Auch in Korallenstöcken kommen Höhlen vor, deren Entstehuug möglicherweise auf Zwischenräume zwischen einzelnen Korallenbauten infolge des ungleichmäßigen Wachstums der Riffe zurückzuführen ist. In neuerer Zeit ist aber die primäre Existenz der Riffhöhlen angezweifelt worden (vgl. u. a. Kapitel: Ursprüngliche Höhlen). Die ursprünglichen Höhlen sind jedenfalls aber sehr viel seltener, als die später gebildeten, so daß wir hier hauptsächlich die große Gruppe der später gebildeten Höhlen behandeln werden.

[1]) Unter Erosion versteht man allgemein die mechanische Zerstörung der Gesteine — einerlei ob durch fließendes Wasser, Meerwasser, Wind, Gletschereis usw. bewirkt.

Die Erosion des fließenden Wassers wird neuerdings vielfach als Korrasion (Abschabung) bezeichnet. Die Meereserosion heißt auch Abrasion und die Winderosion (zumeist durch mitgeführten Sand hervorgebracht) wird als Deflation bezeichnet. Die Kräfte, welche das durch die Erosion aufgearbeitete Material fortschaffen, werden denudierende genannt; die Fortschaffung selbst heißt Denudation, und wenn sie durch Wasser bewirkt ist, nennt man sie Ablation.

Hier ist nur die mechanische Tätigkeit des Wassers als Erosion von der chemischen oder Korrosion (nicht zu verwechseln mit der zuvor definierten Korrasion!) unterschieden.

beträchtliche Mengen des Lösungsmittels mit dem Gestein in Berührung. Immerhin finden sich aber in den schwerlöslichen Gesteinen weit seltener Höhlen; und es ist die Beobachtung zu machen, daß wenn solche vorkommen, sie nie größere Dimensionen erreichen.

Die Erosion sowohl als auch die Korrosion — beide Kräfte setzen, wie leicht einzusehen ist, stets an den Stellen im Gestein ein, welche den geringsten Widerstand bieten. Solche Stellen sind die das Gestein durchsetzenden Spalten und Klüfte. Von diesen aus wirkt das Wasser zerstörend — höhlenbildend.

Die Zerklüftung der Gesteine ist eine Folge des Druckes der bei der Gebirgsbildung wirkenden tektonischen Kräfte, des sogenannten „Gebirgsdruckes", welcher hier so kräftig gewirkt hat, daß die Erdkruste davon in Falten zusammengeschoben wurde, so daß große Ketten- oder Faltengebirge entstanden, — dort aber das Gestein nur einer gelinden Pressung unterwarf, so daß sich Klüfte und Spalten (Lithoklasen) in dem einst festen Gestein bildeten.

Die Spuren dieser zuletzt genannten schwächeren Form des Gebirgsdruckes scheinen keinem Gebiete völlig zu fehlen, auch den sogenannten Tafelländern nicht, jenen Gebieten, welche von Krustenbewegungen scheinbar unberührt die ursprüngliche Horizontschichtung sich bewahrt haben.

Jene die Gesteine der Erdkruste durchsetzenden Klüfte werden von dem in die Tiefe dringenden Wasser zu Höhlen erweitert, wenn die Beschaffenheit des Gesteines zur Höhlenbildung günstig ist.

Drittes Kapitel.

Die Verteilung der Höhlen in den Gesteinsarten der Erdrinde.

Höhlen in Eruptivgesteinen. — Höhlen in Sedimentgesteinen. — Höhlenführende Gesteinsarten.

Höhlen kommen in sehr verschiedenen Gesteinen der Erdkruste vor; indessen sind es nur ganz bestimmte Gesteinsarten, welche zur Höhlenbildung sich als besonders geeignet erweisen. Wie die Beobachtung gelehrt hat, sind in erster Linie die Kalk- und Dolomitgesteine höhlenführend; und zwar sind von diesen besonders diejenigen reich an Höhlen, welche keine Schichtung in dünne Gesteinslagen aufweisen. Der Grund für die Beschränkung der Höhlen auf bestimmte Gesteine, deren physikalisch-chemische, bzw. geologische Beschaffenheit der Höhlenbildung günstig ist, wird aus dem Nachfolgenden verständlich sein.

Die Gesteine, welche die feste Kruste der Erde zusammensetzen, werden bekanntlich eingeteilt in zwei große Gruppen, nämlich:

1. in **Eruptivgesteine**, welche in glutflüssigem Zustande aus dem noch heißen Innern der Erde emporgestiegen sind, um entweder innerhalb der festen Erdrinde (intrusiv) oder an der Oberfläche, als Lava hervorquellend (extrusiv), zu erstarren. In letztere Unterabteilung sind auch die sogenannten vulkanischen Tuffe einzuordnen, welche nichts anderes als verfestigte Lagen vulkanischer Asche sind.

2. **Sedimentgesteine.** Dies sind die Gesteine, welche von Gewässern (Flüssen, Seen, Meeren) abgesetzt — sedimentiert — worden sind. Konglomerate, Sandsteine, Ton, Kalk, Dolomit, Gips, Steinsalz gehören in diese zweite Hauptgruppe von Gesteinen.

Die Gesteine der ersten Gruppe, die Eruptivgesteine (also z. B. Granite, Syenite, Diabase, Porphyre, Diorite, Basalte,

Trachyte usw.) sind im allgemeinen höhlenfrei, mindestens aber sehr höhlenarm. Nur in den stromförmig ausgebrochenen Laven sind Höhlungen häufig vorhanden.

Die Höhlen in Eruptivgesteinen können verschiedener Entstehung sein: Sie können erstens ehemalige Blasenräume in dem einst glutflüssigen Gestein darstellen; in Lavaströmen können sie sich zweitens dadurch gebildet haben, daß unter der durch Erstarrung bereits fest gewordenen Lavahülle das noch flüssige Innere weiter geflossen ist [1]). Andere Höhlen in Eruptivgesteinen sind wie die meisten Höhlen überhaupt nichts anderes als Bruchspalten im Gestein, welche durch die unterirdisch fließenden Gewässer erweitert sind. Schließlich kommen viertens an den Eruptivgesteinen auch größere Löcher vor, welche sich durch den ständigen Anprall der Meeresbrandung an einer Steilküste gebildet haben. Solche Strandhöhlen finden sich in jedem Gestein. In den im allgemeinen sehr harten Eruptivgesteinen sind aber auch sie nicht so häufig, wie in den weicheren Sedimentgesteinen.

Viel seltener aber als die Strandhöhlen findet sich in den Eruptivgesteinen die dritte Gruppe von Höhlen vertreten, nämlich diejenige, welche durch Erweiterung von Spalten vom Wasser gebildet wurden. Denn diese Art der Höhlen setzt voraus, daß das Gestein in Wasser verhältnismäßig leicht löslich ist. Nun sind aber die Eruptivgesteine aus den im allgemeinen äußerst schwer in Wasser löslichen Silikaten zusammengesetzt, daher können sich Höhlen nur sehr selten durch Auflösung eines solchen Gesteines bilden und wo dies doch geschehen ist, kann man beobachten, daß die so entstandenen Höhlen im Vergleich zu jenen in leichter löslichen Gesteinsarten nur geringe Dimensionen besitzen. Die chemische Natur der Eruptivgesteine widersetzt sich also der chemisch lösenden Kraft des Wassers, der Korrosion. Andererseits ist auch die physikalisch lösende Kraft des Wassers, welche bei der Erosion in Wirkung tritt, bei der harten Beschaffenheit der Eruptivgesteine, für die Höhlenbildung von nur geringer Wirksamkeit. Daher sind auch Strandhöhlen, welche durch Ero-

---

[1]) Zu dieser Gruppe von Höhlen in Eruptivgesteinen gehören einzelne sogar recht bedeutende Höhlen. So die Surtshellir auf Island, auf welche noch späterhin zurückzukommen ist.

sion gebildet werden, in Eruptivgesteinen nicht so häufig als in den weicheren Gesteinsarten.

Zu diesen beiden Gründen für die Höhlenarmut in Eruptivgesteinen kommt noch ein weiterer: die Eruptivgesteine sind zumeist entsprechend ihrer einheitlichen Entstehung gleichmäßig fest zusammenhängende Gesteinsmassen. Daher sind in ihnen nicht in dem Maße, wie in anderen Gesteinen, Stellen geringeren Widerstandes vorhanden, auf welchen sich Höhlen bilden können. Denn die Spalten und Klüfte, welche im Innern der Eruptivgesteinsmassen vorkommen, sind im allgemeinen so eng, daß sie für eine zur Höhlenbildung genügende Zirkulation des Wassers nicht ausreichen.

Dies sind die drei Hauptgründe für die große Seltenheit von Höhlen in Eruptivgesteinen.

Ganz anders als die Eruptivgesteine verhalten sich den höhlenbildenden Kräften gegenüber gewisse Sedimentgesteine.

Zwar führen Gneise, Schiefergesteine, Quarzite und manche Sandsteine ebensowenig Höhlen als die Eruptivgesteine, und zwar aus den gleichen Gründen: große mechanische wie chemische Widerstandsfähigkeit.

Ebenso sind Konglomerate, Sande, Tone nicht zur Höhlenbildung geeignet, weil ihre Beschaffenheit eine allzu lockere ist, als daß große Hohlräume in ihnen entstehen könnten; sie würden einstürzen.

Anders aber verhalten sich die in Wasser, namentlich in Kohlensäure führendem, verhältnismäßig leicht löslichen Gesteine: Kalk, Dolomit, Gips, Salz[1]). In ihnen vermag das auf Spalten in die Tiefe rieselnde Wasser sehr wohl durch Auflösung

---

[1]) Unter Kalk versteht man in der Geologie stets kohlensauren Kalk ($CaCO_3$). Dolomit ist eine Doppelverbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia ($MgCa[CO_3]_2$). Gips ist wasserhaltiger schwefelsaurer Kalk ($CaSO_4 + 2\,H_2O$). Der wasserfreie Anhydrit ($CaSO_4$) kann deswegen nicht als höhlenbildend bezeichnet werden, weil derselbe durch das Wasser nicht direkt gelöst wird, sondern sich vor der Lösung erst in Gips verwandelt. Unter Salz ist allgemein das häufigste Salz, das Steinsalz ($NaCl$) verstanden. Die übrigen Salze, Soda, Salpeter usw. können natürlich auch Höhlen führen, sind aber so leicht in Wasser löslich, daß Höhlen darin nur in ganz besonders wasserarmen Gebieten warmer Gegenden vorkommen können. Zudem sind diese Gesteine viel seltener als Steinsalz.

des Gesteines Hohlräume zu schaffen. Nur wachsen in Gips und Steinsalz die so gebildeten Höhlen derart schnell in die Breite, daß sie, kaum entstanden, wieder zusammenbrechen, während in dem schwerer löslichen Kalk und Dolomit die Höhlen nur sehr langsam sich vergrößern und infolgedessen lange Zeiträume hindurch erhalten bleiben, bis auch sie naturgemäß schließlich einstürzen müssen. Daher finden sich auch die weitaus meisten Höhlen in Kalk- und Dolomitgebirgen.

Die chemische Natur des Kalkes bzw. Dolomites ist es also, welche der Höhlenbildung günstig ist. Darum ist aber nicht jedes Kalk- oder Dolomitgestein höhlenführend. Es kommt noch ein weiteres hinzu: Die Sedimentgesteine sind zumeist aus zahlreichen übereinander lagernden Schichten aufgebaut. Auch die meisten Kalksteine und Dolomite lassen eine Schichtung erkennen. Höhlen können sich aber, wie die Beobachtung zeigt, nur in den Kalken und Dolomiten bilden, welche aus dicken Bänken bestehen, oder besser noch in denen, welche gar keine Schichtung aufweisen.

Denken wir uns in einem dünnbankigen Gestein eine Höhle entstehen, so werden gar leicht, sobald die Höhle in die Breite wächst, die dünnen Gesteinslagen von der Decke herabbröckeln, und somit einen Einsturz der Höhle veranlassen, während umgekehrt dicke Bänke von Gestein derart fest gegeneinander geklemmt sind, daß ein Einbruch viel schwieriger ist. Trotzdem finden solche Höhleneinstürze, wie wir später sehen werden, auch in dickbankigen Gesteinen statt.

Aus der Beobachtung über das Vorkommen von Höhlen lernen wir zweierlei:

1. Die Höhlen finden sich in ganz überwiegender Menge in solchen Gesteinen, welche von Wasser verhältnismäßig leicht gelöst werden können, also Kalk, Dolomit, Gips, Salz. In den am leichtesten löslichen Gesteinen, Salz und Gips, werden sie jedoch niemals alt, weil ihr Wachstum ein allzu schnelles ist, so daß sie, kaum entstanden, wieder zusammenbrechen[1]). Die

[1]) In den trockenen Gebieten unserer Erde können sich natürlich auch in den am leichtesten löslichen Salzgesteinen Höhlen bilden und lange erhalten; denn infolge der äußerst geringen Wassermengen wachsen die Höhlen dort nur sehr langsam und können daher große Zeiträume hindurch bestehen (vgl. Anm. S. 9).

Höhlen beschränken sich also zumeist auf Kalk und Dolomitgebirge.

2. Das Gestein, in welchem Höhlen sich bilden, kann kein dünngeschichtetes sein; am geeignetsten sind dickbankige oder massige Kalk- bzw. Dolomitgesteine.

Viertes Kapitel.

Verkarstung und Karstphänomene.

Höhlengebiete. — Vertikalentwässerung. — Verkarstung. — Karstlandschaft. — Karstphänomene.

Zwei Hauptumstände sind, wie wir gesehen haben, zur Höhlenbildung erforderlich:

1. Das Gestein muß chemisch von Wasser angegriffen werden können;

2. es muß zerklüftet sein, so daß das Wasser leicht in die Tiefe dringen kann.

Diese beiden Vorbedingungen zur Bildung von Höhlen lassen erkennen, daß das Höhlenphänomen kein allgemein verbreitetes sein kann, sondern daß es nur auf bestimmte Gebiete beschränkt sein muß, in denen diese Bedingungen zutreffen. Wo dieses aber der Fall ist, da findet sich das Höhlenphänomen zumeist so reich ausgebildet, daß man geradezu von Höhlengebieten sprechen kann.

In diesen Höhlengebieten ist die zweite der genannten Vorbedingungen zur Höhlenbildung, die hohe Zerklüftung des Gesteines, das äußerlich am meisten charakteristische Merkmal.

Denn infolge hoher Zerklüftung des Felsuntergrundes eines Gebietes können die Wasser der atmosphärischen Niederschläge nicht, wie es sonst der Fall ist, oberirdisch in größeren oder kleineren Rinnsalen abfließen, sondern werden vielmehr, von den Klüften aufgenommen, auf diesen in die Tiefe dringen.

Anstatt der Entwässerung nach der Horizontalen tritt also in den stark zerklüfteten Höhlengebieten eine nach der Vertikalen ein.

Einem Höhlengebiete fehlt daher fließendes Wasser; es ist überhaupt wasserarm und infolgedessen zumeist unfruchtbar.

Wenn die Zerklüftung eine geringere ist, so daß die Spalten zur Aufnahme der gesamten Niederschlagsmenge nicht völlig ausreichen, so kann neben der Entwässerung nach der Vertikalrichtung auch die nach der Horizontalrichtung vor sich gehen. In solchen Gebieten haben wir den Übergang eines typischen Höhlengebietes mit „Vertikalentwässerung" zu einem normalen Gebiete, dessen Entwässerung in der Horizontalen erfolgt [1]).

Durch den andauernd sich vollziehenden Vorgang der Höhlenbildung werden die schon vorhandenen Klüfte immer mehr erweitert, so daß die „Klüftigkeit" des Gesteines ständig wächst.

Hierdurch wird bewirkt, daß auch in den Gebieten, welche geteilte Entwässerung besitzen — also solche nach der Horizontalen sowohl als auch nach der Vertikalen — die letztere auf Kosten der ersteren in stetiger Zunahme begriffen ist. Das Endergebnis dieses Vorganges ist, daß die Klüftigkeit des Gesteines schließlich so groß wird, daß eine horizontale Entwässerung selbst bei den heftigsten Niederschlägen nicht mehr eintritt, sondern alles Wasser in die Tiefe sinkt.

Der ganze Prozeß des Überganges von der Horizontalentwässerung zur gemischten, und von dieser zur alleinigen vertikalen können wir als **„Verkarstung"** bezeichnen; nach dem Karstgebirge so genannt, in welchem das Endergebnis des Verkarstungsvorganges am reinsten zu beobachten ist.

Wie in der Einleitung bemerkt, bezeichnet man heute als Karst nicht mehr allein das Karstgebirge Krains, sondern eine

---

[1]) Aber auch hier ist nur wenig fließendes Wasser, und die Flußdichte, das Verhältnis zwischen der Länge der Wasserläufe und der Bodenfläche des Zuzugsgebietes ist sehr viel geringer, als in anderen Gebieten. Nach den Berechnungen von Fr. Machaček im Schweizer Jura ist die Flußdichte dort stellenweise etwa 20 mal geringer; auf Blatt Ornans beträgt sie 0,16 (257 km Flußlängen auf 1596 qkm Bodenfläche). Die Flußdichte schwankt naturgemäß — abgesehen von der Gesteinsbeschaffenheit eines Gebietes — auch je nach den Niederschlagsverhältnissen. Im Schwarzwald erreicht die Flußdichte nach L. Neumann bis zu 2,88.

ganz bestimmte Landschaftsform. Die Karstlandschaft bildet sich stets da aus, wo die vertikale Entwässerung an Stelle der horizontalen getreten ist. Karstgebiete sind also stets Gebiete, in welchen die Niederschläge nicht ober- sondern unterirdisch zum Abfluß gelangen.

Zugleich mit dem Wasser werden auch die von ihm mitgerissenen Bodenbestandteile in die Tiefe geschwemmt. Daher kommt es, daß die Verwitterungsprodukte des Bodens, welche anderwärts die Ackerkrume bilden, im Karst fehlen, so daß an der Oberfläche der unbedeckte Fels zurückbleibt, und die Landschaft zuweilen den Charakter einer Felswüste hat.

Die Einschwemmung des verwitterten Gesteinsmateriales in die Felsspalten des Karstes ist nun ein Vorgang, welcher der Höhlenbildung entgegen arbeitet. Und dennoch ist gerade im Karst das Höhlenphänomen ganz besonders ausgebildet; ja es sind sogar alle die eigenartigen Karstphänomene als unmittelbare Folgeerscheinungen der reichen Höhlenbildung anzusehen.

Dies erklärt sich leicht dadurch, daß die Höhlenbildung schneller vor sich geht, als die Ausfüllung: Das Wasser führt wohl Material von der Oberfläche in die Tiefe, aber es bildet gleichzeitig durch Korrosion einen Hohlraum in dem Gestein, welcher im allgemeinen größer ist, als das Volumen der eingeschwemmten Masse.

Hierin liegt auch ein weiterer Grund für das Fehlen der Höhlenphänomen bzw. Karstphänomene in solchen Gesteinsarten, welche in Wasser unlöslich oder nur sehr schwer löslich sind. Denn wenn solche Gesteine auch von noch so zahlreichen Klüften durchzogen sind, so werden ihre Spalten dennoch bald von eingeschwemmtem Material erfüllt sein, weil die Höhlenbildung in ihnen nicht mit der Einschwemmung gleichen Schritt halten kann.

In den höhlenführenden Gesteinen nimmt die Verkarstung also ständig zu, während in anderen Gesteinen, selbst wenn in solchen infolge hoher Zerklüftung karstähnliche Verhältnisse einstmals geherrscht haben, diese „Pseudo"-Verkarstung abnimmt.

In den Karstphänomenen zeigt sich also eine Reihe von Erscheinungen, welche zueinander in direktem Abhängigkeitsverhältnisse stehen:

1. Die Zerklüftung in einem in Wasser löslichen Gestein, besonders in Kalk- oder Dolomitgestein.

2. Die Erweiterung der Klüfte durch die lösende Kraft des Wassers und die Entstehung der Höhlen.

3. Fortschwemmung der Verwitterungsprodukte des Bodens in die Spalten, wodurch die kahle Felsoberfläche der Karstlandschaft bewirkt wird.

Alle diese drei genannten Erscheinungen im Karst sind durch die vertikale Entwässerungsrichtung bedingt. Diese ist es auch, welche ein

4. Karstphänomen hervorbringt: die unterirdischen Flüsse. Denn die Wasser, welche in die Tiefe rieseln, vereinigen sich vielfach zu unterirdischen Wasserläufen, auf welche wir später zurückkommen werden.

Schließlich gehören zur Reihe der Karstphänomene

5. die Dolinen, das sind trichterförmige Einsenkungen, welche oft zu vielen hunderten geschart vorkommen und teils als Einbrüche von Höhlen, teils als erweiterte Abzugslöcher der vertikal nach unten gerichteten Entwässerung anzusehen sind. Die Dolinen bilden neben den Höhlen und unterirdischen Wasserläufen die wichtigsten der Karstphänomene.

Ein weiteres, 6. Karstphänomen würden die hinsichtlich ihrer Entstehung vielfach noch recht strittigen Kesseltäler oder Poljen bilden. Dieselben stellen wannenförmige Talsenkungen dar, an deren Boden oftmals fließendes Wasser sich befindet. Diese Täler sind auf allen Seiten vom Gebirge abgeschlossen, so daß das in ihnen befindliche Wasser unterirdisch — in Höhlenflüssen — zum Abfluß gelangt. Die Kesseltäler stehen mit dem gesamten Karstphänomen in so engem Zusamenhang, daß wir ihnen deswegen ganz besondere Beachtung schenken müssen (vgl. Kap. XVI), obwohl sie keineswegs in allen Karstgebieten vorkommen.

Fünftes Kapitel.

Grundwasser und Quellen in Höhlengebieten.

Grundwasser. — Quellen. — Quellhorizonte. — Vertikalentwässerung, eine Tiefenentwässerung. — Niveauschwankungen des Grundwasserspiegels. — Klüftigkeit. — Bedeutung der Höhlen als unterirdische Töpfe. — Hungerbrunnen. — Vauclusequellen. — Strömung des Grundwassers.

Im vorigen Abschnitt wurde gezeigt, daß durch die Höhlenbildung die Entwässerung eines Gebietes verändert wird. Während im allgemeinen der größere Teil der Niederschlagsmengen oberflächlich — also mehr in der horizontalen — abläuft, dringt, wie wir gesehen haben, in Höhlengebieten das gesamte Wasser vertikal in die Tiefe und bewirkt hierdurch die Verkarstung. Indessen fehlt diese Vertikalentwässerung den höhlenfreien Gebieten keineswegs völlig; denn stets wird ein Teil des Wassers der Niederschläge auf größeren oder kleineren Rissen in die Tiefe dringen. Aber der Vertikalentwässerung werden in diesen Gesteinen enge Grenzen gesetzt. Die Spalten können sich nicht erweitern, sondern im Gegenteil durch eingeschwemmtes Material nur verengern. Die Menge des vertikal in das Gebirge eindringenden Wassers kann mithin nur gering sein, während diejenige des oberflächlich abfließenden eine große ist. Umgekehrt ist in Höhlengebieten, wie wir sahen, die Vertikalentwässerung die vorherrschende, ja in echten Karstgebieten sogar die alleinige Entwässerungsform.

Das Wasser dringt in diesen letzteren von der Oberfläche in immer größere Tiefen herab, bis es auf Gesteine kommt, welche „wasserundurchlässig“ sind; über diesen sammelt es sich, alle Risse des darüber befindlichen kavernösen Gesteins erfüllend, als **Grundwasser** an.

Solche wasserundurchlässigen Gesteine sind stets in der Tiefe vorhanden; denn das Urgestein, welches den tieferen geologischen Untergrund eines jeden Gebietes unserer Erde bildet, ist als

wasserundurchlässig anzusehen. Wenn also über diesem nicht noch andere wasserundurchlässige Gesteine liegen, z. B. Tone, Quarzite usw., dann bildet das Urgestein die Basis des Grundwassers.

Durch die ständigen Zuflüsse von oben steigt nun der Grundwasserspiegel so lange an, bis er an irgend einer Stelle die Erdoberfläche erreicht. Dies ist in den natürlichen Depressionen (Tälern, Mulden usw.) der Fall. Dort also tritt das Grundwasser zutage — es entsteht eine **Quelle.**

Da aber an solchen Stellen (in Depressionen) das Gelände den Grundwasserspiegel zumeist in einer längeren Linie schneidet, so entstehen gewöhnlich mehrere, oft sogar eine ganze Reihe von Quellen, welche alle ungefähr in gleicher Höhenlage — derjenigen des Grundwasserspiegels — sich befinden; man spricht dann von einem **Quellhorizont.**

Wir definieren also den Quellhorizont als die Schnittlinie der Erdoberfläche mit dem Grundwasserspiegel.

Das in den Quellen zutage tretende Wasser strömt im Gestein zu ihnen hin. Da diese Strömung des Grundwassers in horizontaler Richtung erfolgt, so ist die Vertikalentwässerung in Wirklichkeit auch eine Horizontalentwässerung, welche sich nur nicht an der Oberfläche, sondern in der Tiefe vollzieht. Man kann die Vertikalentwässerung daher auch als **Tiefenentwässerung** bezeichnen und sie von der horizontalen oder **Oberflächenentwässerung** trennen.

Beide Entwässerungsarten unterscheiden sich dadurch, daß bei der Horizontalentwässerung der größere Teil der Wassermassen nahezu in der Horizontalen abfließt, während der kleinere Teil zuerst vertikal in die Tiefe dringt, um dann aber wiederum in der Horizontalen sich zu bewegen. Im Gegensatz zur Horizontalentwässerung haben wir bei der Vertikalentwässerung zuerst vorherrschende, oft sogar alleinige Entwässerung in der Vertikalen, dann in der Tiefe wieder eine solche in der Horizontalen.

In Gebieten mit Vertikalentwässerung fließen die Niederschläge ganz oder größtenteils in der Tiefe ab;

in Gebieten mit Horizontalentwässerung ganz oder größtenteils an der Oberfläche[1]).

Ein weiterer Unterschied zwischen Gebieten mit Vertikal- und Horizontalentwässerung liegt in der wechselnden Höhenlage des Grundwasserspiegels bei der ersteren und der nahezu konstanten Höhenlage der letzteren Entwässerungsart.

Dies findet seine Erklärung darin, daß in Höhlengebieten mit Vertikalentwässerung das gesamte Wasser in die Tiefe dringt und infolgedessen den Grundwasserspiegel um ein beträchtliches zum steigen bringt, — während in anderen Gebieten, wo das Wasser größtenteils oberirdisch abfließt, große Veränderungen in der Höhenlage des Grundwasserspiegels kaum eintreten können. Die großen Unterschiede in den Niederschlagsmengen der einzelnen Jahreszeiten können sich also in den Gebieten mit Horizontalentwässerung nicht in gleichem Maße durch die Höhenlage des Grundwasserspiegels aussprechen, als in Höhlengebieten mit Vertikalentwässerung.

Höhlengebiete zeichnen sich also stets durch größere Niveauschwankungen des Grundwasserspiegels aus.

Wenn es nun möglich wäre, in Höhlengebieten die Höhenlage des Grundwasserspiegels zu messen, so könnte man, wie dies von A. Grund versucht wurde, aus der bekannten Niederschlagsmenge und der ihr entsprechenden Steigung des Grundwasserspiegels den Grad der Zerklüftung ermitteln. Grund geht von der Erwägung aus, daß das bei vertikaler Entwässerung in die Tiefe sickernde Wasser der Niederschläge sich auf die Klüfte im Gestein verteilt, welche durch Schichtfugen und Querrisse alle miteinander kommunizieren. Wenn nun die Klüfte zahlreich und weit sind, so ist die durch Niederschläge hervorgebrachte Schwankung des Grundwasserspiegels nur gering, ist dagegen die Zerklüftung schwach und sind die Klüfte eng, so ist die Schwankung des Grundwasserspiegels bedeutend.

Der Grad der Zerklüftung wird nach Grund in folgender Weise bestimmt. Ein Niederschlag von der Höhe a bewirkt eine

---

[1]) Daß beide Entwässerungsarten zuweilen ineinander übergehen, ist in dem Kapitel über Verkarstung (S. 12) bereits gesagt worden.

Steigung des Grundwasserspiegels um die Höhe b. Es seien a und b in Metern ausgedrückt. Dann fällt auf 1 qm Bodenfläche a cbm Wasser. Diese a cbm verteilen sich auf den Ritzen und Spalten im Gestein auf $b\,\mathrm{m} \, . \, x\,\mathrm{qm} = b\,x\,\mathrm{cbm}$, wobei x die theoretische Grundfläche des Prisma vom Inhalt a cbm und von b m Höhe ist; x bedeutet also den Flächenraum, der von Spalten pro Quadratmeter Oberfläche eingenommen wird: x ist das Maß der Zerklüftung.

Es besteht die Gleichung

$$a\,\mathrm{cbm} = b\,x\,\mathrm{cbm},$$

folglich ist

$$\frac{a}{b} = x.$$

Bedingt also beispielsweise eine Niederschlagshöhe $a = 10$ cm ($= 0{,}1$ m) eine Steigung des Grundwasserspiegels um $b = 10$ m, so ist

$$x = \frac{0.1}{10} = 0.01.$$

Auf 1 qm Oberfläche kommen also in diesem Falle an Spalten 0,01 qm.

Diese von Grund in Anwendung gebrachte theoretische Methode, die Klüftigkeit der Karstgesteine zu messen, läßt sich jedoch niemals verwerten, weil die Schwankungen des Grundwasserstandes nicht hinreichend bekannt sind. Die immer nur in Höhlen gemessene hohe Steigung des Grundwassers infolge von Niederschlägen beweist nämlich keineswegs, daß der gesamte Grundwasserspiegel um diesen Betrag gestiegen ist. Denn es ist leicht möglich, daß die Höhle in diesem Falle einen Topf vorstellt, in welchen von allen Seiten das Wasser geflossen ist. Daher sind die in Höhlen gemessenen Schwankungen des Grundwassers möglicherweise rein lokale.

A priori läßt sich allerdings schwer annehmen, daß bei der hohen Zerklüftung der Karstgesteine solche lokalen Schwankungen des Grundwasserspiegels vorkommen können. Denn infolge der hohen Klüftigkeit steht das gesamte Grundwasser in Kommunikation. Wenn man aber in Betracht zieht, daß die Zerklüftung nicht völlig gleichmäßig das ganze Gestein durchzieht und daß der Reibungswiderstand, welchen das Wasser in den zahlreichen

Klüften beim Strömen überwinden muß, ein sehr hoher ist, so hoch, daß, wie wir später sehen werden, das Wasser nur sehr, sehr langsam sich in dem Gestein bewegen kann, — so sind solche lokalen Schwankungen des Grundwasserstandes wohl denkbar; ja sie sind sogar selbstverständlich.

Daher kann es leicht vorkommen, daß alle Wassermassen zuerst in einen natürlichen Hohlraum sich ergießen, und von da aus sich allmählich im umgebenden Gestein verbreiten. Naturgemäß wird in diesem Hohlraum die Schwankung des Wasserspiegels unverhältnismäßig groß sein, während in Wirklichkeit das Grundwasser nur um einen viel geringeren Betrag steigen würde, wenn das Wasser gleichmäßig verteilt wäre.

Da nun die Höhlen sich an den Stellen im Gestein bilden, an welchen das Wasser stets in die Tiefe zu rieseln pflegt, so ist es fast notwendig anzunehmen, daß die in Höhlen gemessenen Grundwasserschwankungen unrichtige Werte für die wahre Grundwasserschwankung ergeben. Mithin läßt sich auch hieraus kein Maß entnehmen für die Klüftigkeit eines Gesteines.

Aber immerhin ist das eine sicher: In Höhlengebieten sind infolge der vertikalen Entwässerungsrichtung die Schwankungen stets beträchtliche, wenn sie auch nicht so bedeutend sind, als sie nach den Messungen in Höhlen zu sein scheinen.

Infolge der Schwankungen des Grundwasserspiegels sind in Höhlengebieten auch eigenartige Verhältnisse bezüglich der Quellen zu beobachten.

Wir hatten gesehen, daß eine Quelle da entsteht, wo in einer natürlichen Depression die Erdoberfläche mit dem Grundwasserspiegel sich schneidet. Infolge der starken Verschiebung des Grundwasserspiegels verändert nun auch die Quelle ihren Austrittspunkt und tritt längs einer längeren Linie an den verschiedensten Punkten, je nach der Höhenlage des Grundwasserspiegels hervor. Der wechselnde Austrittspunkt ist eine wichtige Eigenschaft der Quellen in Höhlen- bzw. Karstgebieten.

Unter den Quellen in Höhlengebieten sind besonders eigentümlich die sogenannten Hungerbrunnen. Unter diesen versteht man die Quellen, welche nur in der nassen Jahreszeit Wasser führen.

Grund hat in seiner Karsthydrographie die Hungerbrunnen des Karstes wegen ihrer großen Häufigkeit in diesem Gebiete geradezu als „Karstquellen“ bezeichnet. Indessen möchten wir die uralte Bezeichnung Hungerbrunnen beibehalten.

Die wechselnde Ergiebigkeit des Hungerbrunnens erklärt sich dadurch, daß in der trockenen Jahreszeit die Austrittsstelle der Quelle über dem Grundwasserspiegel liegt, während sie in der nassen Jahreszeit unter dem Grundwasserspiegel sich befindet und daher Wasser führt.

Bei den perennierenden Quellen [1]) ist der Austrittspunkt der Quelle stets unter dem wechselnden Grundwasserspiegel gelegen, so daß sie stets Wasser führt.

Unter den perennierenden Quellen sind die sogenannten Vauclusequellen (sources vauclusiennes) den Karstgebieten besonders eigentümlich.

Geheimnisvoll treten sie als große Wassermassen aus den Felsen. Die Vaucluse (bei Aix-la-Sorgue in Südfrankreich, Dauphiné), welche dieser Art von Quellen den Namen gegeben hat, ist zugleich das beste Beispiel für dieselben. Der Timavo, jener eigenartige Fluß, welcher in drei großen nahe beieinander gelegenen Armen $^1/_2$ km von der Adria entfernt bei San Giovanni de Duino dem Karst entquillt, ist ebenfalls eine echte Vauclusequelle.

Die Deutung der Vauclusequellen ist schwer. Sind sie die Austrittspunkte unterirdischer Flüsse? oder werden sie nur von großen unterirdischen Ansammlungen von Grundwasser gespeist? Die Antwort hierauf können wir zunächst nicht mit Sicherheit geben. In den Abschnitten über die Karstflüsse werden wir auf die Vauclusequellen noch zurückzukommen haben.

Aus dem über die hydrographischen Eigentümlichkeiten der Karstgebiete Gesagten heben wir folgendes heraus:

1. Die Vertikalentwässerung eines Gebietes erfolgt nur bis zu einer gewissen Tiefe, bis zu einer wasserundurchlässigen Gesteinsart. Dort sammelt es sich als Grundwasser an.

---

[1]) Grund hat für diese Quelle die Bezeichnung „Vauclusequelle“ einzuführen versucht. Es würde dadurch aber Verwirrung entstehen, da man unter dieser Bezeichnung von jeher etwas ganz anderes meinte, nämlich die Quellen, welche nach Art der Vaucluse sofort als größere Flüsse dem Gebirge entströmen.

2. Die Höhenlage des Grundwasserspiegels ist in Höhlengebieten großen Schwankungen unterworfen. Diese Schwankungen bedingen, daß in der trockenen Jahreszeit die höher gelegenen Quellen versiegen (Hungerbrunnen).

3. Durch das Hervorbrechen der Quellen wird dem Grundwasser eine gewisse Bewegung erteilt: es strömt, und zwar vom Innern des Gebirges zur Quelle hin.

Infolge der Strömung, bei der immer neue Wassermengen mit dem Gestein in Berührung kommen, kann das Wasser auch eine gewisse Arbeit leisten. Es trägt zur Höhlenbildung bei, wie wir in dem kommenden Abschnitt sehen werden.

Sechstes Kapitel.

Die Korrosion in Karstgebirgen.

1. Die Auflösung des Kalkes durch Wasser. — 2. Dolomit als Karstgestein. — 3. Bedeutung der Korrosion in Karstgebirgen. — 4. Die unlöslichen Bestandteile der Karstgesteine. — Terra rossa. — Höhlenlehm. — 5. Tropfsteinbildungen in Höhlen. — 6. Bildungsdauer der Tropfsteine. — 7. Alter der Höhlen. — 8. Zusammenfassung.

---

1. Die Auflösung des Kalkes durch das Wasser. Das Wasser vermag, wie wir bereits öfters hervorgehoben haben, verhältnismäßig leicht die Gesteinsmassen der Kalkgebirge aufzulösen. Ein Teil Kalk löst sich nach Fresenius in 10000 Tln. von kaltem Wasser und in 8834 Tln. siedenden Wassers.

In der Natur haben wir es zumeist mit kaltem Wasser zu tun, welches also eine viel geringere Lösungskraft besitzt. Indessen wurde der angegebene Versuch mit chemisch reinem Wasser (H_2O) angestellt. Nun ist aber das meteorische Wasser, welches in der Natur seine Korrosionstätigkeit in so hohem Maße entfaltet, nicht etwa chemisch rein — nein, es enthält bereits, ehe es als Niederschlag zu Boden fällt, beträchtliche Quantitäten von Kohlensäure (CO_2) gelöst, welche es aus der Luft aufnimmt. Ein Volumen Wasser bei 15° C löst etwa ein Volumen Kohlen-

säure. Auch von den gasförmigen Elementen, welche die Luft zusammensetzen, dem Sauerstoff (O) und dem Stickstoff (N), enthält das Wasser etwas, wenn auch nur sehr wenig, gelöst. Der Kohlensäuregehalt des Wassers ist es indessen, welcher die chemische Kraft des Wassers in so hohem Maße unterstützt, daß die gleiche Wassermenge, wenn kohlensäureführend, ungefähr die 10fache Quantität an Gesteinssubstanz aufzulösen vermag, als reines Wasser.

Auch hierüber liegen von Fresenius Beobachtungen vor; mit den vorigen Angaben und einer weiteren von Lassaigne gemachten sind sie in nachstehender kurzen Tabelle vereinigt [1]).

Es lösen 10000 Tle. Wasser:

a) kohlensäurefrei	15° C	0,9434	Tle. Kalkcarbonat
	100	1,132	„ „
b) kohlensäureführend . . .	0	7,0	„ „ (nach Lassaigne)
	15	10,0	Tle. Kalkcarbonat

Der Umstand, daß kohlensäureführendes Wasser weit mehr löst, als kohlensäurefreies Wasser, findet seine Erklärung darin, daß die Carbonate von Kalk und Magnesia, welche schwerer löslich sind, mit Kohlensäure in leichter lösliche Bicarbonate ($[CO_3]_2H_2Ca$ bzw. $[CO_3]_2H_2Mg$) verwandelt werden. Chemisch wird der Prozeß durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\underbrace{H_2O}_{\text{Wasser}} + \underbrace{CO_2}_{\text{Kohlensäure}} + \underbrace{CaCO_3}_{\text{Kohlensaurer Kalk}} = \underbrace{[CO_3]_2H_2Ca}_{\text{Calciumbicarbonat (Doppeltkohlens. Kalk)}}$$

Das Wasser enthält also doppeltkohlensauren Kalk, dessen Menge natürlich durch die ursprünglich im Wasser enthaltene Quantität an Kohlensäure bedingt ist. Da aber kohlensäurefreies Wasser ebenfalls, wenngleich in viel geringerem Maße das Gestein löst, muß auch einfach kohlensaurer Kalk in jedem im Kalkgebirge durchfließenden Wasser enthalten sein. Neben dem Kalkbicarbonat enthält somit das Wasser auch stets eine gewisse Menge einfach kohlensauren Kalkes in Lösung.

Das im Wasser gelöste Bicarbonat besitzt die Eigenschaft, leicht in Kohlensäure und Monocarbonat zu zerfallen. Die

[1]) Vgl. auch Roth, Allgem. u. chem. Geologie 1, 47 bis 54.

Kohlensäure geht dabei größtenteils in die Luft über. Dieser Vorgang tritt bei Berührung mit Luft, bei Verdunstung, bei Erhitzung usw.[1]) ein. Der durch obige chemische Gleichung dargestellte Vorgang findet dabei in umgekehrter Richtung statt:

$$\underbrace{[CO_3]_2H_2Ca}_{\text{Doppeltkohlensaurer Kalk}} = \underbrace{CaCO_3}_{\text{Kohlensaurer Kalk}} + \underbrace{H_2O}_{\text{Wasser}} + \underbrace{CO_2}_{\text{Kohlensäure}}$$

Da bei diesem chemischen Vorgange das Wasser seinen Kohlensäuregehalt größtenteils einbüßt, muß das zurückbleibende einfache Carbonat ($CaCO_3$) sich aus dem Wasser niederschlagen. Denn kohlensäurefreies Wasser löst nur sehr beschränkte Quantitäten kohlensauren Kalkes, und diese lösliche Menge des einfach kohlensauren Kalkes war bereits neben dem doppeltkohlensauren Kalk im Wasser gelöst enthalten, bevor noch die Kohlensäure sich ausschied. Daher muß sich das gesamte durch Kohlensäureabscheidung sekundär gebildete einfache Carbonat als fester Körper aus der Lösung niederschlagen. Solche Niederschläge werden Kalksinter, Kalktuff, Kesselstein usw. genannt. Der Tropfstein der Höhlen ist, wie wir sehen werden, ein gleichartiges Gebilde.

Diese Vorgänge können wir nun, wie folgt, zusammenfassen: Das Wasser vermag einfach kohlensauren Kalk aufzulösen und zwar ungefähr im Verhältnis 10000:1; wenn es aber Kohlensäure enthält, so kann es unter Umständen die 10fache Menge an kohlensaurem Kalk auflösen. Denn die freie Kohlensäure besitzt die Fähigkeit, sich mit weiteren Mengen kohlensauren Kalkes zu doppeltkohlensaurem Kalk zu vereinigen, welcher im Wasser bei weitem leichter löslich ist. Das Wasser enthält nun neben einfach kohlensaurem Kalk doppeltkohlensauren Kalk in Lösung. Da der letztere aber keine sehr beständige chemische Verbindung ist, so vermag er es leicht, die Kohlensäure wieder auszuscheiden, so daß einfach kohlensaurer Kalk, weil schwer löslich, von neuem ausgeschieden wird. So bildet sich der Kalksinter.

In der Natur ist das im Gebirgsinnern befindliche Wasser nur im Ausnahmefall (bei den kohlensäureführenden Mineral-

[1]) Auch die Ausscheidung der Schalen von Organismen beruht ganz auf dem gleichen Vorgang.

wässern) völlig mit Kohlensäure gesättigt. Die gewöhnlichen Wasser führen nur sehr beschränkte Quantitäten von Kohlensäure; daher wirkt auch die korrodierende Kraft des Wassers in weit geringerem Maße, als man aus den in obenstehender Tabelle angegebenen Maximalwerten für die Löslichkeit des Kalkes schließen könnte.

Um zu ermitteln, wieviel das Wasser, welches ein Karstgebirge durchsickert an Gestein aufzulösen imstande ist, ließ Verf. den Verdampfungsrückstand desjenigen Wassers abwiegen, welches von der Decke einer Höhle in der Fränkischen Schweiz herabträufelte. Das Wasser hatte seinen Weg durch das Gestein genommen und war dementsprechend als mit gelöstem Gesteinsmaterial gesättigt anzusehen. Der Verdampfungsrückstand betrug pro Liter 0,3624 g. Dieser Gehalt an gelöstem Gestein entspricht also nur dem dritten Teile dessen, was das Wasser zu lösen imstande ist, wenn es mit Kohlensäure gesättigt wäre.

2. Dolomit als Karstgestein. Alles im vorigen Abschnitt bezüglich der chemischen Löslichkeit des Kalkes Gesagte gilt im gleichen Maße auch von Dolomit. Der Dolomit ist eine Doppelverbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, nämlich $[CO_3]_2 Mg . Ca$; in Gewichtsprozenten ausgedrückt besteht der Dolomit aus 54,23 Proz. $CaCO_3$ und 45,77 Proz. $MgCO_3$.

Wie eine Reihe von Untersuchungen von Professor E. von Gorup-Besanez [1]) gezeigt haben, beträgt der durchschnittliche Gehalt der Quellen an gelöstem Gestein im Dolomitgebirge der Fränkischen Schweiz etwa 0,26 g pro Liter. Der Dolomit besitzt also in der Natur die gleiche Löslichkeit wie der Kalk.

Demgegenüber steht nun eine noch vielfach verbreitete, jedoch durchaus irrige Ansicht, daß der Dolomit ein schwer lösliches Gestein ist. Diese Meinung stützt sich zum Teil auf die Erfahrung, daß der Dolomit von verdünnten Säuren nicht so leicht angegriffen wird als der Kalk [2]). Was aber bezüglich des

[1]) E. v. Gorup-Besanez, Über dolomitische Quellen des Frankenjura. Ann. d. Chem. u. Pharm. 8, Supplementband 1872.

[2]) Bekanntlich beruht auf diesem Verhalten des Dolomites verdünnten Säuren gegenüber das gewöhnliche Unterscheidungsmittel von äußerlich oft genau ebenso aussehenden Kalken, dessen sich der Geologe bei seinen Studien im Freien bedient. Der Kalk wird bei

Verhaltens des Dolomites verdünnten Säuren gegenüber gilt, ist nicht ohne weiteres auf das Wasser zu übertragen. Denn die Analysen beweisen, daß der Dolomit von Wasser ebenso aufgelöst wird wie der Kalk.

Vielfach ist auch die Meinung geäußert worden, daß der Dolomit keine feste chemische Doppelverbindung ist, sondern daß er eine Mischung der Carbonate von Kalk und Magnesia sei. Von dieser Meinung ausgehend wurde die Theorie aufgestellt, daß das Wasser dem Dolomit nur das Kalkcarbonat entzieht, während es das Magnesiacarbonat zurückläßt. Nicht nur von älteren Autoren ist dies behauptet worden, sondern auch in neuester Zeit tritt uns diese falsche Auffassung immer wieder entgegen. So lesen wir in Grunds Karsthydrographie bezüglich des Dolomites folgendes[1]: „Bisher wurde der Dolomit zumeist zu den karstbildenden Gesteinen gerechnet, zum Teil mit Recht, zumeist aber mit Unrecht. Der Dolomit ist ein Gemenge von Kalk- und Magnesiacarbonat. Ersteres ist in Wasser chemisch löslich, das letztere bildet bei der Zerstörung des Dolomites einen unlöslichen Grus."

Der Dolomit ist aber erstens keine Mischung von beiden Carbonaten, sondern eine feste Doppelverbindung. Das geht aus der prozentual gleichmäßigen chemischen Zusammensetzung der Dolomite hervor. Die von E. v. Gorup-Besanez gegebene Analyse zweier Dolomite aus Franken ergab beispielsweise

57,32 Proz. bzw. 57,21 Proz. kohlensauren Kalk
und 42,68 „ „ 42,79 „ kohlensaure Magnesia.

Diese Zusammensetzung entspricht also ungefähr derjenigen des Normaldolomites von je einem Molekül Kalkcarbonat und

---

Berührung mit verdünnter Salzsäure stets zersetzt, so daß Kohlensäure frei wird, welche in dem zur Probe ausreichenden Salzsäuretropfen in kleinen Bläschen heftig aufbrausend entweicht. Anders verhält sich der Dolomit; dieser wird beim Befeuchten mit verdünnter Säure nicht zersetzt, infolgedessen findet auch kein Aufschäumen in dem Säuretropfen statt.

[1] Wir glauben diese Stelle hier zitieren zu müssen, weil sie in kurzen Worten die noch weit verbreitete, aber durchaus irrige Ansicht über den Dolomit kennzeichnet. Als höhlenbildendes Gestein, also als Karstgestein wird es negiert; trotzdem finden sich aber in vielen Dolomitgebirgen oft ganz besonders zahlreiche Höhlen; so z. B. in der Fränkischen Schweiz.

Magnesiacarbonat, deren Gewichtsverhältnis 54,23 Proz. kohlensauren Kalk und 45,77 Proz. kohlensaure Magnesia ergeben würde. Etwas Kalk ist, wie es scheint, dem normalen Dolomit — also der Doppelverbindung beider Carbonate — in der Natur stets beigemengt.

Dem Umstande entsprechend, daß der Dolomit keine Mischung zweier Carbonate, sondern eine feste chemische Doppelverbindung ist, wird auch nicht etwa, wie Grund angibt, der eine der beiden Bestandteile, das Kalkcarbonat, allein gelöst. Vielmehr haben alle bisher ausgeführten Analysen — und deren liegen eine Menge vor — ergeben, daß beide im Dolomit vereinten Carbonate gleichmäßig gelöst werden. So hat E. v. Gorup-Besanez des weiteren festgestellt, daß die im Quellwasser gelöst enthaltenen Carbonate von Kalk und Magnesia in den Wassern der Fränkischen Schweiz sich im Durchschnitt prozentual wie 58,71 : 41,29 verhalten — also wiederum das gleiche Verhältnis beider Carbonate auch in der Lösung des Gesteins im Quellwasser! Die grundlegenden diesbezüglichen Untersuchungen von E. v. Gorup-Besanez fanden auch in anderen Gebieten als der Fränkischen Schweiz ihre Bestätigung. Mithin ist auch die so oft ausgesprochene Ansicht bezüglich der Unlöslichkeit des Dolomites, als solchen, weil mit den Tatsachen nicht übereinstimmend, von der Hand zu weisen.

Da nach dem Gesagten der Dolomit im gleichen Maße im Wasser löslich ist, wie der Kalk, so muß auch der Dolomit als Karstgestein angesehen werden, wie dies denn auch in den vorhergehenden Seiten unsererseits geschehen ist. So haben wir denn auch in dem großen Dolomitgebirge der Fränkischen Schweiz gerade ein echtes Karstgebirge; es ist das größte Höhlengebiet Deutschlands.

3. Die Bedeutung der Korrosion in Karstgebirgen.

Die großen Mengen Wassers, welche in den zahlreichen Quellen aus dem Gebirge hervortreten, können nach dem, was wir über die Löslichkeit der Karstgesteine erfahren haben, in den Karstgebieten naturgemäß nicht chemisch reines Wasser sein; vielmehr ist das Quellwasser mit denjenigen Mineralbestandteilen beladen,

welche das Wasser auf seinem Wege durch das Gestein aufzulösen vermochte.

In den Karstgesteinen, den Kalken und Dolomiten, führt das Quellwasser stets beträchtliche Quantitäten an kohlensaurem Kalk bzw. kohlensaurer Magnesia. Dieser im Quellwasser vorhandene Gehalt an jenen Carbonaten gibt ein Maß für die chemische Tätigkeit des Wassers, die Korrosion, innerhalb des Gebirges, oder — was dasselbe bedeutet — ein Maß für die Höhlenbildung.

Denn die von Mineralbestandteilen freien Wasser der Niederschläge dringen in die Tiefe, lösen vom Gestein eine gewisse Quantität auf, welche von den Quellbächen alsdann fortgetragen wird. Da auf diese Weise andauernd Substanz dem Gebirge entzogen wird, müssen sich in dessen Innern Hohlräume bilden; so entstehen die Höhlen.

Wieviel an Substanz vermögen nun die Quellen alljährlich dem Gebirge zu entführen? — Leicht ist diese Frage zu lösen, wenn die mittlere Wassermenge einer Quelle und der Gehalt derselben an gelösten Mineralbestandteilen bekannt ist.

Die Menge des im Quellwasser gelöst Enthaltenen ist unschwer zu ermitteln, indem man eine bestimmte Quantität des Wassers verdampfen läßt. Die im Wasser gelösten Gesteinsmengen bleiben hierbei in der Verdampfungsschale als feste Substanz — als sogenannter „Kesselstein" — zurück.

So hat sich ergeben, daß jedes Liter eines dem Kalk- bzw. Dolomitgebirge entströmenden Wassers im Mittel etwa 0,25 g gelöste Substanz enthält. In den Karstgebieten enthält somit ein Kubikmeter Quellwasser $^1/_4$ kg an gelöster Gesteinssubstanz. Da das spezifische Gewicht des Gesteines etwa 2,6 ist, so beträgt das Volumen von $^1/_4$ kg 0,000 096 cbm. Die Quantität des Wassers, welches einer Quelle entströmt, ist meist in „Sekundenlitern" (n) angegeben. Man muß daher die Zahl n mit dem Gewicht a der in 1 Liter Wasser gelösten Gesteinsmenge (ausgedrückt in Gramm) und der Anzahl der Sekunden eines Jahres multiplizieren, um die Gesteinsquantität Q zu ermitteln, welche von der Quelle alljährlich dem Gebirge entzogen wird. Er ist also dann

$$Q = n \,.\, a \,.\, 31\,536 \text{ kg}.$$

Wie bereits gesagt, beträgt a durchschnittlich 0,25; es ist mithin im allgemeinen $Q = n \,.\, 7884$ kg.

Ohne weiteres ist hieraus zu ersehen, daß die Größe Q eine recht bedeutende ist.

So entzieht z. B. der Timavo, jene Riesenquelle, welche am Rande des Krainer Karstes nordwestlich von Triest hervorbricht und durchschnittlich nicht weniger als 2 300 000 cbm pro Tag — also **26 620** Sekundenliter — führt, dem Gebirge im Jahre 210 000 000 kg Gestein. Die dem unterirdischen Zuzugsgebiet der Timavoquellen alljährlich entzogenen 210 000 000 kg Gesteinsmaterial nehmen ein Volumen von 80 700 cbm ein. Es bilden sich somit innerhalb des Zuzugsgebietes der Timavoquellen Jahr für Jahr Hohlräume, deren Gesamtvolumen über 80 000 cbm beträgt, welche also den Raum eines Würfels von 43 m Kantenlänge einnehmen würden.

Die größte Quelle Deutschlands befindet sich im Gebiete des Schwäbischen Jura, und zwar am Südrande desselben; es ist die Quelle der Hegauer oder Radolfszeller Aach, welche nach kurzem Lauf in den unteren See sich ergießt. Die Aachquelle entführt dem kalkigen Juragebirge im Durchschnitt etwa 7000 Sekundenliter Wasser, und pro Tag nicht weniger als 151 000 kg Gestein. Im Jahre beträgt somit der unterirdische Substanzverlust des Gebirges etwa 55 000 000 kg (1 102 300 Ztr.). Da je 52 Ztr. 1 cbm des Gesteinsvolumens entsprechen, so müssen sich alljährlich im unterirdischen Zuzugsgebiet der Aachquelle Hohlräume bilden, deren Gesamtvolumen etwa 21 000 cbm beträgt.

Diese beiden Beispiele (Timavoquellen und Aachquelle) geben einen Begriff von der hohen Bedeutung der Korrosionskraft des Wassers für die unterirdische Abtragung der Gebirge — also für die Höhlenbildung. — Wir müssen aber ausdrücklich betonen, daß diese Beispiele nicht etwa als Ausnahmen anzusehen sind. Dies könnte nur hinsichtlich der Größe der Quellen gelten; nun entwässern aber die großen Quellen auch große Gebiete, während kleine Quellen nur viel kleinere Zugangsgebiete besitzen. Die Entwässerung eines großen Karstgebietes, welche in den angegebenen Fällen durch jene vereinzelten Riesenquellen geschieht, wird im allgemeinen durch eine größere Anzahl von kleineren Quellen ausgeführt. Die Summe der von letzteren fortgeführten Gesteinssubstanz ist jedoch durchaus entsprechend der jener großen Quellen.

Die chemische Beschaffenheit des Quellwassers belehrt uns über die ungeheure Bedeutung der Korrosion in der Geologie. Da nun die Korrosion die chemische Ursache der Entstehung jener Hohlräume im Gebirge ist, mit welchen die Höhlenkunde sich befaßt, so muß hier der Vorgang der Korrosion eine eingehendere Erörterung finden.

Da infolge der Vertikalentwässerung oberflächlich fließendes Wasser in echten Karstgebieten nur von untergeordneter Bedeutung ist oder gar ganz fehlt, so kann die Korrosion auch kaum, vielfach sogar gar nicht, an der Oberfläche stattfinden.

In den Karstgebieten haben wir somit ganz vorherrschend unterirdische Korrosion; daher ist die Korrosion in Karstgebieten ihrer Hauptsache nach gleichbedeutend mit Höhlenbildung.

4. Die unlöslichen Bestandteile der Karstgesteine. Vielfach kommen Dolomite und Kalke vor, deren petrographische Beschaffenheit der Verkarstung ungünstig ist. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn bei der Auflösung des Gesteines ein unlöslicher Grus zurückbleibt, welcher durch Verstopfung der Spalten und Klüfte dem Wasser den Weg in die Tiefe verlegt. Dann kann die Verkarstung naturgemäß nicht fortschreiten. Nun findet sich vielfach in den Gesteinen ein unlöslicher Rückstand, welcher aus tonigem und sandigem Material, sowie aus den im Wasser unlöslichen Oxyden und Carbonaten von Eisen, Mangan usw. zusammengesetzt ist.

Rot gefärbt durch den Eisengehalt kommt die „unlösliche Asche" der Karstgesteine, die **„Terra rossa"** (rote Erde) sowohl in Kalk- wie auch in Dolomitgebirgen vor. Die Terra rossa, welche sich namentlich in den natürlichen Vertiefungen der Karstgebiete oft in ganz beträchtlicher Menge ansammelt, ist ein sichtbarer Zeuge der Korrosionstätigkeit des Wassers, welche den Kalk, bzw. Dolomit entfernt hat, so daß nur die unlöslichen Verunreinigungen dieser Gesteine übrig geblieben sind.

Was die Terra rossa an der Oberfläche der Karstgebiete ist, das gleiche ist der **Höhlenlehm** im Innern der Gebirge. Auch er ist nichts anderes, als der unlösliche Rückstand des Gesteines, welcher zurückgeblieben ist, als die Höhle durch die korrodierende Kraft des Wassers geschaffen wurde. In einer jeden Höhle be-

gegnet man am Boden jenem braunen bis braunroten tonigen Gebilde.

Der unlösliche Rückstand der Karstgesteine ist im Verhältnis zu der vom atmosphärischen Wasser aufgelösten Gesteinsmasse ein sehr kleiner; zumeist beträgt er nur Bruchteile von Prozenten. Es müssen also beträchtliche Gesteinsmengen von der Korrosion entfernt sein, bevor die Terra rossa in solchen Mengen sich niederschlagen konnte, wie wir sie in den Karstländern finden. Wenn wir indessen bei den Karstgesteinen den sehr kleinen Betrag von nur $^1/_{10}$ Proz. als unlöslich annehmen — eine Zahl, die wohl weit unter dem Durchschnitt steht — so würde das Gewicht der unlöslichen Asche der Karstgesteine, welche beispielsweise alljährlich in dem Zuzugsgebiet des Timavo sich bildet, auf etwa 200 000 kg zu veranschlagen sein.

Dies Beispiel zeigt, daß auch die Quantität an unlöslichen Bestandteilen der Karstgebirge, welche Jahr um Jahr frei wird, doch immerhin eine recht beträchtliche ist. Es kann somit auch nicht verwunderlich erscheinen, daß sich in den Höhlen so beträchtliche Mengen von Höhlenlehm finden.

Der Höhlenlehm wiederum ist zweierlei Herkunft: primär oder sekundär. Als primär bezeichnen wir den Höhlenlehm, der sich als unlöslicher Rückstand aus dem, den jetzigen Höhlenraum dereinst erfüllt habenden Gestein bei dessen Auflösung niedergeschlagen hat. Als sekundär ist der durch Gesteinsspalten in die Höhle eingeschwemmte Höhlenlehm zu bezeichnen.

Beide Arten von Höhlenlehm finden sich indessen stets in den Höhlen vermischt, so daß der Unterschied zwischen beiden — sekundären und primären Höhlenlehm — nur aus rein theoretischen Gründen zu machen ist.

5. Die Tropfsteinbildung in Höhlen. Die Höhlen, welche das Wasser im Gestein sich gebildet hat, sind stets mit Luft erfüllt. Je weiter nun der Höhlenbildungsprozeß fortschreitet, desto mehr werden die Verbindungsspalten der Höhle mit der Oberfläche erweitert und desto besser wird daher die Ventilation. Infolge der erhöhten Ventilation kann in der Höhle alsdann auch Verdunstung der eindringenden Sickerwasser eintreten, welche bei mangelhafter Ventilation wegen des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Höhlenluft unterbleiben würde.

Da nun die in die Tiefe dringenden Wasser nichts anderes sind, als für ihre Temperatur und ihren Kohlensäuregehalt gesättigte Lösungen von Kalk, bzw. Dolomit, so muß mit der Verdunstung eine Neuausscheidung von Gestein verbunden sein. Solche Ausscheidungen von Kalksinter [1]) oder Höhlensinter finden sich in sehr vielen Höhlen: es sind die **Tropfsteine**, jene eigenartigen Gebilde, deren oft schneeweißer Glanz die Höhlen so märchenhaft schön erscheinen läßt. Die Tropfsteinbildung ist also von dem Umstande abhängig, ob in der Höhle Verdunstung eintreten kann oder nicht. Dieser Umstand erklärt auch in einfachster Weise, warum jene Höhlen, welche größere Wasseransammlungen enthalten oder von Flüssen durchströmt werden, an Tropfsteingebilden so arm sind, oder gar ihrer völlig entbehren.

Der Vorgang der Tropfsteinbildung ist kurz folgender: Jeder an der Decke der Höhle aus den oft winzigen Spalten hervorsickernde Tropfen überzieht sich infolge der Verdunstung mit einem feinen Häutchen von kohlensaurem Kalk. Wenn schließlich der Tropfen durch neuen Wasserandrang so schwer wird, daß er herabfällt, dann reißt das Kalkhäutchen und sein größerer Teil fällt mit dem Tropfen zu Boden, während nur der kleine Rand jenes Häutchens an der Decke zurückbleibt.

Der zu Boden fallende Tropfen zerstiebt und verdunstet. Dabei scheidet er auch den Rest seines Kalkgehaltes aus, welcher sich am Höhlenboden als Kalksinter niederschlägt. Dieser Vorgang wiederholt sich andauernd. So häuft sich am Boden der Höhle, namentlich an den Stellen, auf welche die von der Decke herabträufelnden Tropfen aufschlagen, ständig Höhlensinter an, während gleichzeitig an der Decke zierlich gebaute zapfenartige Tropfsteine sich bilden, die aus den Resten jener Millionen von feinen Kalkhäutchen hervorgegangen sind, die einen jeden Wassertropfen umfaßt haben. **Stalaktiten** werden jene von der Decke herabhängenden eiszapfenartigen Kalkausscheidungen ge-

---

[1]) In Dolomitgebirgen ist der Höhlensinter naturgemäß magnesiaführend; es scheint jedoch stets freier kohlensaurer Kalk in den Tropfsteinen vorzuherrschen. Genauere Untersuchungen hierüber wären am Platze.

nannt. Ihnen wächst vom Boden aus ein zweiter Tropfstein entgegen, welcher als **Stalagmit** bezeichnet wird [1]).

Die Stalaktiten sind zumeist ziemlich gleichartig gestaltet; ihre übliche Form ist die einer dünnen Röhre. Die röhrenförmige Gestaltung ist darauf zurückzuführen, daß der Stalaktit aus den Resten jener feinen Kalkhäutchen aufgebaut wird, die einen jeden Tropfen bei der Verdunstung überziehen. Die Tropfen haben naturgemäß eine runde Gestalt. Wenn nun der Tropfen herabfällt, reißt er den größten Teil des Kalkhäutchens mit sich, und nur dessen feiner, an die Höhlendecke grenzender, kreisrunder Saum bleibt dort hangen. So ist es zu erklären, daß die Überreste der unzähligen dort herabfallenden Tropfen sich allmählich zu einem röhrenförmig gestalteten Stalaktiten zusammensetzen.

Abgesehen von dem zuvor schon erwähnten Längenwachstum der Stalaktiten findet auch ein Dickenwachstum statt. Dies geschieht, indem sich um die ursprünglich angelegte Stalaktitenröhre neuer Kalksinter absetzt. Die zahlreichen aus der Decke hervortretenden Tropfen fließen der niemals völlig wagerechten Decke entlang, bis sie an einem der Stalaktitenröhrchen herablaufen, wobei sie diesen mit Kalksinter überkleiden. Durch beständiges Dickenwachstum können die Stalaktiten auch des öfteren recht beträchtliche Dimensionen annehmen. Meist kann man aber bei Zerschlagen dieser Tropfsteine in deren Innern das ursprüngliche Röhrchen erkennen, aus dessen Sinterumkleidung sie sich gebildet haben. Mitunter ist aber auch diese Röhre nicht mehr vorhanden, weil sie mit neu ausgeschiedenem Kalksinter wieder ausgefüllt ist.

Die Stalagmiten sind im Gegensatz zu den Stalaktiten meist viel größer und dicker; denn sie sind aus dem Kalkgehalt des gesamten vom Stalaktiten herabfallenden Wassertropfens, einschließlich des größten Teiles jenes Kalkhäutchens, gebildet, welches von den herabfallenden Tropfen des Stalaktiten mitgerissen wurde.

Durch ständiges Längenwachstum des Stalaktiten einerseits, des Stalagmiten andererseits, vereinigen sich schließlich beide zu

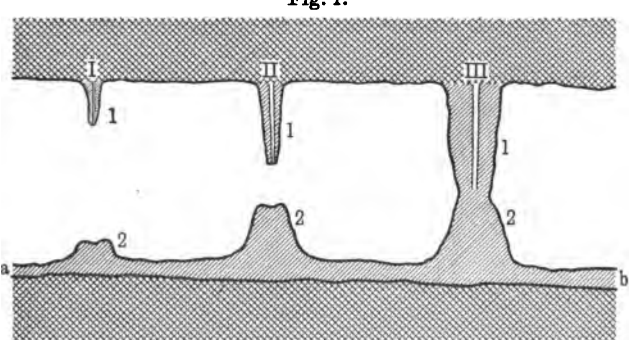
---

[1]) Die Namen Stalaktiten und Stalagmiten entstammen dem Griechischen; *σταλακτός* tröpfelnd, *σταλαγμός* das Getröpfel.

einer einzigen Säule, längs deren das Wasser herablaufend seinen Kalkgehalt immer weiter ausscheidet.

Die Tropfsteingebilde können die eigenartigsten Formen annehmen. Namentlich sind dies die am Boden und an den Wänden der Höhlen befindlichen. Am Boden entstehen Sinterdecken, wenn das kalkausscheidende Wasser sich gleichmäßig ausbreiten kann. Sinterwannen bilden sich am Rande kleiner Tümpel, welche die Bodenunebenheiten ausfüllen. In diesen kleinen mit Wasser erfüllten Sinterbecken scheidet sich zuweilen das sogenannte Teufelskonfekt aus. Unter diesem Namen versteht man kleine, kugelige mit Warzen und Buckeln versehene Gebilde

Fig. 1.



Schematisches Profil durch drei Tropfsteine in einer Höhle.
I und II Jugendstadien, (1) Stalaktiten, (2) Stalagmiten. III (1) und (2) zu einer Säule vereinigt. *a b* eine Sinterdecke.

von Kalksinter, welche irgend einen Fremdkörper, ein Gesteinsstückchen usw. umschließen.

Wenn an den Wänden der Höhle das Wasser herabrieselt, scheidet es seinen Kalkgehalt als eine Wandbekleidung ab. Sind an der Wand kleine Unebenheiten, so werden diese oft zum Ausgangspunkt einer Stalaktitenbildung. Die zahlreichen Zapfen, welche nebeneinander herabhängen, vereinigen sich zuweilen infolge ständigen Dickenwachstums, so daß Tropfsteingebilde entstehen, welche einem Wasserfall nicht unähnlich sehen. Versteinerte Wasserfälle werden sie daher auch genannt.

Die Tropfsteine können überhaupt die eigenartigsten Formen annehmen. Die naive Phantasie des Höhlenführers weiß sie oft

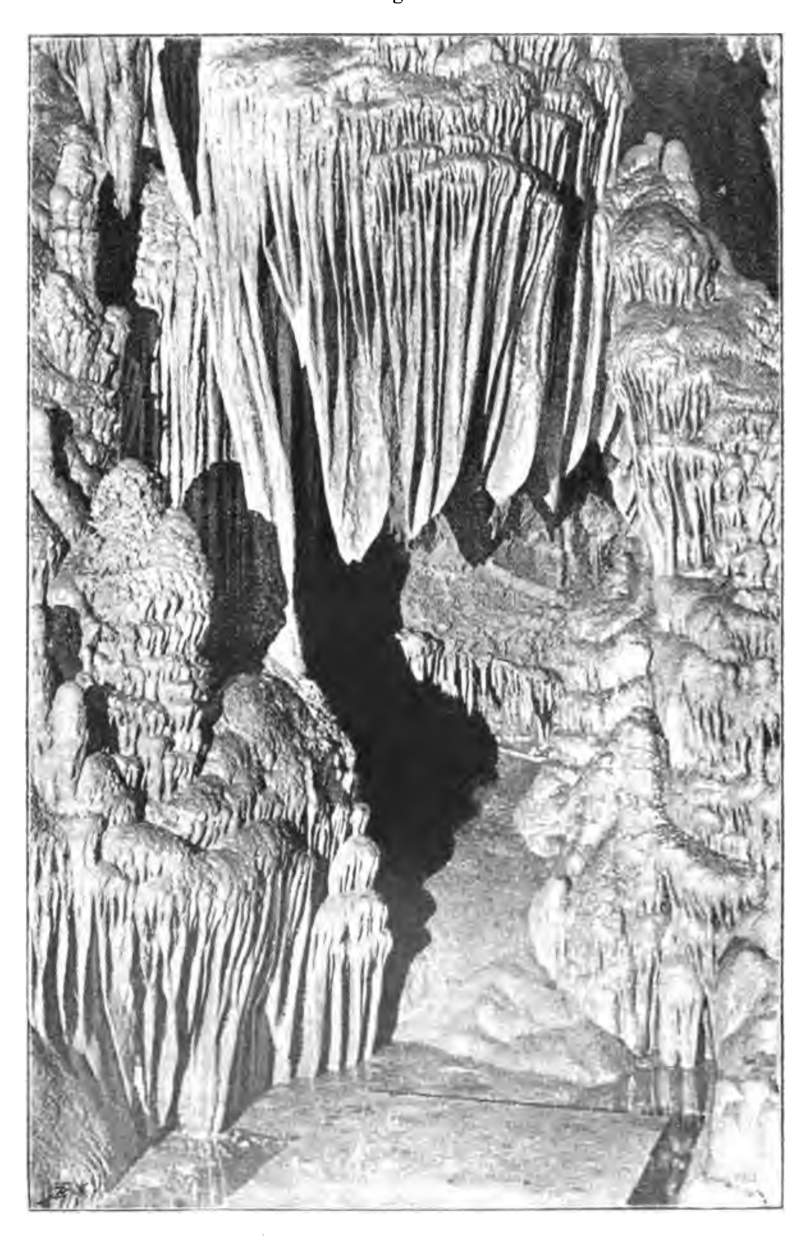
mit den merkwürdigsten Gegenständen des täglichen Lebens zu vergleichen. Die auf den beiden Tafeln gegebenen Abbildungen (Fig. 2 und 3) zeigen trefflich die eigenartigen Tropfsteinformen. Fig. 2, ein Bild aus der Laurayhöhle (Virginia), stellt neben anderen Tropfsteingebilden, die als „versteinerte Wasserfälle" bezeichneten Wandverkleidungen dar. Die zweite Tafel (Fig. 3), einen Teil der Grotte von Dargilan (Causse noire) wiedergebend, zeigt besonders fein die oft so zierlichen Stalaktiten. Im Hintergrunde (rechts) befinden sich einige der mehr massigen Stalagmiten.

Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen der Menge des Kalkes, welche in den Höhlen als Kalksinter ausgeschieden wird, und der gesamten vom Wasser gelösten Gesteinsmasse liegen bisher keine zusammenfassenden Beobachtungen vor. Hierüber geben indessen die in der Maximilianshöhle bei Krottensee in der fränkischen Schweiz gemachten Beobachtungen Aufschluß. In dieser Höhle befindet sich ein See, welcher nichts anderes als Grundwasser ist, bis zu welchem die Höhle hinabreicht. Der Gehalt dieses Wassers an gelöstem Gesteinsmaterial entsprach denn auch genau dem des Grundwassers jener Gebiete, welches in den Quellen zutage tritt; ein Liter enthielt 0,2589 g gelöstes Gestein. Das Wasser aber, welches von den Stalaktiten der Höhle herunterträufelt, ist bei weitem kalkreicher, denn der Verdampfungsrückstand betrug pro Liter 0,3624 g. Da auch die Tropfwasser anderer Höhlen den annähernd gleichen Verdampfungsrückstand besitzen, gelangen wir zu dem folgenden Ergebnis: Ungefähr ein Drittel dessen, was das Wasser unter normalen Verhältnissen vom Gestein zu lösen imstande ist, wird im Gebirge selbst wieder als Höhlensinter ausgeschieden, während zwei Drittel in das Grundwasser übergehen.

6. Bedeutung der Tropfsteinbildung in der Entwickelung der Höhlen. Wir haben erkannt, daß die Tropfsteinbildung von der Verdunstung in der Höhle abhängig ist. Diese tritt ein, sobald durch Erweiterung der engen Spalten, welche die Höhle mit der Erdoberfläche verbindet, genügende Ventilation geschaffen ist. Wir müssen demnach zwei Stadien der Entwickelung einer Höhle voneinander trennen. Das erste Stadium ist die Entstehung der Höhle, das zweite, durch

Zu Seite 34.

Fig. 2.



„Thron" und „Kathedrale" in der Luray-Höhle.

Fig. 3.



Der „Springbrunnensaal“ in der Grotte von Dargilan.



einen entgegengesetzt wirkenden Vorgang gekennzeichnete Stadium, ist die Ausfüllung der Höhlen mit neu ausgeschiedenem Gestein, mit Tropfsteingebilden.

Hiermit ist indessen keineswegs gesagt, daß der Beginn der Tropfsteinbildung durchaus das Ende des Höhlenbildungsvorganges überhaupt anzeigt. Die Höhlenbildung kann neben der Kalksinterbildung vor sich gehen, wenn sie auch durch letztere in ihrem Gesamtanteil an der Abtragung eines Gebirges beschränkt wird. Dies zeigt die chemische Beschaffenheit des Grundwassers an. Wir haben im ersten Abschnitt dieses Kapitels gesehen, daß das in den Quellen zutage tretende Grundwasser im Durchschnitt 0,25 g an gelöstem Gestein pro Liter enthält. Diese Gesteinsmasse wird also dem Gebirge tatsächlich entzogen. Da wir aber trotzdem innerhalb des Gebirges in vielen der Höhlen den Vorgang der Tropfsteinbildung beobachten können, so müssen wir den Schluß ziehen, daß in den den Höhlen benachbarten Gebieten die Höhlenbildung fortschreitet. Die korrodierenden Kräfte vermögen weit eher neue Höhlungen zu schaffen, als schon vorhandene zu erweitern.

Nach dem Gesagten behält auch der oben angeführte Satz, daß in der Höhlenentwickelung zwei Stadien zu trennen sind, deren eines durch die Höhlenbildung, deren anderes durch die Tropfsteinbildung gekennzeichnet ist, seine allgemeine Gültigkeit. Denn die alten Höhlen, welche zumeist durch stärkere Ventilation ausgezeichnet sind, dienen vornehmlich als Absatzorte des Kalksinters. In ihrer unmittelbaren Nachbarschaft kann jedoch die Korrosion spaltenerweiternd — also höhlenbildend — wirken.

Ausgezeichnet ist dies beispielsweise an der berühmten Grotte von Adelsberg zu beobachten. Dieselbe teilt sich nahe ihrem Eingange in zwei Arme, von denen der eine, tiefer gelegene, das heutige unterirdische Bett der Poik bildet, während der andere, höher gelegene das ehemalige Bett dieses Flusses gewesen ist. Dadurch, daß die Korrosion sich Spalten im Gestein zu einer anderen, tiefer gelegenen Höhle erweiterte, wurde die Poik nach und nach in ihr neues Bett geleitet, während ihr altes austrocknete.

In der alten Höhle haben sich nun die Tropfsteinbildungen in geradezu erstaunlicher Fülle angesammelt, während in der neuen Höhle kaum ein einziger Tropf-

stein zu finden ist. Während hier die Korrosion eine große Wasserhöhle gebildet hat, ist dort in unmittelbarer Nähe keine Spur von jüngerer Höhlenbildung zu beobachten, sondern nur das Gegenteil davon, die Höhlenausfüllung durch Kalksinter. Die alte Höhle befindet sich in dem zweiten Stadium der Höhlenentwickelung, in welchem Sinterbildung stattfindet, ein Stadium, das die junge Höhle noch nicht erreicht hat.

Wer einmal Gelegenheit hatte, diese Erscheinung an diesem besonders auffallenden Beispiel zu beobachten, der wird das gleiche auch bei vielen anderen Höhlen wiederfinden; der wird erkennen, daß dieselbe Kraft, die Korrosion unmittelbar nebeneinander hier neue Höhlen schafft, dort alte Höhlen wieder ausfüllt, daß also durch die Tropfsteinbildung ein neues, zweites Stadium der Höhlenbildung eingeleitet wird.

7. Die Bildungsdauer der Tropfsteine. Oft nehmen die Tropfsteine, insonderheit die Stalagmiten, ganz gewaltige Dimensionen an. So finden sich beispielsweise in der Adelsberger Grotte solche von mehr als 5 m Höhe und 2 bis 3 m im Durchmesser. Angesichts dieser gewaltigen Kalksinterbildungen möchte man wohl die Frage erheben: Wieviel Zeit ist vergangen, bis derartige Tropfsteine sich gebildet haben? Niemand vermag indessen diese Frage zu beantworten.

Wir müssen von vornherein betonen, daß alle Versuche, etwa aus der Anzahl der Tropfen in der Zeiteinheit und deren Kalkgehalt und dem Volumen der betreffenden Tropfsteingebilde die Bildungsdauer der Tropfsteine zu ermitteln, als wertlos zu bezeichnen sind. Denn alle diese noch so genau angestellten Berechnungen gehen von der Voraussetzung aus, daß die Tropfsteinbildung ebenso wie jetzt so auch in früheren Zeiten unverändert vor sich gegangen sei. Dies ist aber eine, wie gleich gezeigt werden soll, durchaus irrige Annahme.

Denn einmal können niederschlagsreiche Zeiten kommen, in welchen kalkführendes Wasser reichlich herniederträufelt, und infolgedessen viel des Kalkes absetzt — umgekehrt können aber auch Perioden eintreten, in welchen weniger Niederschläge den Boden treffen, in welchen eine geringere Wasserzufuhr, mithin auch eine geringere Kalksinterbildung stattfindet.

Aber selbst wenn wir von den Einflüssen der im Laufe langer Zeiten oftmals eintretenden Schwankungen in den Niederschlagsmengen eines Gebietes absehen wollten, dann käme noch ein zweiter Umstand hinzu, welcher einer Berechnung der Bildungsdauer der Tropfsteine entgegensteht: das ist der Umstand, daß die Kalkausscheidung oft geraume Zeit stagnieren kann, weil die Ritzen, aus welchen das kalkführende Wasser herniederträufelt, zuweilen dadurch verstopft werden können, daß sich in ihnen bereits Kalk absetzt, ehe es hervortritt.

In den großen Höhlen könnte man nach Hunderten und Tausenden Tropfsteine zählen, von welchen nicht ein einziger Tropfen mehr herabfällt, weil die Öffnungen in ihnen, aus welchen das Wasser hervortrat, von dem ausgeschiedenen Kalksinter verstopft sind.

Denken wir uns aber eine nur ganz minimale Erderschütterung — wie solche in Höhlen durch Einsturzvorgänge ja leicht auftreten — dann können die winzig feinen Spalten sich wieder von neuem öffnen und es wird dann nach langer Zeit der Ruhe die Tropfsteinbildung von neuem einsetzen.

Aus diesen Erwägungen geht hervor, daß es ein eitles Unterfangen ist, die Bildungsdauer der Tropfsteine zu berechnen. Höchstens könnte man aus der Masse des Tropfsteines einen Schluß auf die Anzahl der Tropfen ziehen, die ihn gebildet. Aber auch dieser Schluß ist nicht einwandfrei, da nicht jeder Tropfen seinen gesamten Kalkgehalt absetzt. Wenn nämlich die Verdunstung nur eine partielle ist, so verdunstet nur ein Teil der Wassertropfen, also scheidet sich nur ein viel kleinerer Teil von Tropfstein aus, als dann, wenn die Verdunstung eine vollkommene ist. Es läßt sich also weder die Anzahl der Tropfen berechnen, welche erforderlich sind, um einen Tropfstein von bestimmter Größe zu bilden, noch läßt sich die Zeit berechnen, in welcher ein solcher zum Absatz gelangt. Diese den Laien namentlich so oft beschäftigende Frage nach dem Alter läßt sich von wissenschaftlicher Seite durchaus nicht beantworten. Und wir haben es daher überhaupt unterlassen, irgendwelche Berechnungen anzustellen.

8. Das Alter der Höhlen. Dasselbe, was im vorigen Abschnitt bezüglich der Bildungsdauer der Tropfsteine gesagt

wurde — nämlich daß es sich rechnerisch nicht ermitteln lasse — genau dasselbe muß auch bezüglich des Alters der Höhlen selbst gesagt werden. Auch nicht einmal annähernd genau ist es anzugeben.

In dem ersten Abschnitt dieses Kapitels haben wir zwar zahlenmäßig den alljährlichen Gesamtbetrag der Höhlenbildung in einem Gebirge ermittelt. Diese großen Hohlräume, die sich Jahr um Jahr in einem Gebirge bilden, verteilen sich aber auf die vielen Tausende von Spalten, welche sich im Zuzugsgebiet einer jener Riesenquellen finden, nicht aber auf ein einziges Höhlensystem. Folglich sind auch die etwa aus dem Betrage des Gesteines, welches durch das Wasser alljährlich gelöst wird, und dem Rauminhalt einer Höhle zu ziehenden Schlüsse unberechtigt. Und selbst wenn ein solcher Schluß zulässig wäre, dann würde dennoch eine solche „Berechnung" der Bildungsdauer einer Höhle deswegen zu verwerfen sein, weil sie auf der falschen Voraussetzung beruht, daß zu allen Zeiten die gleichen Niederschlagsverhältnisse geherrscht haben wie heutzutage; dies ist aber eine Voraussetzung, welche allein schon im Hinblick auf die wenigen uns bekannten Klimaschwankungen in der kurzen Spanne historischer Vergangenheit als irrig erkannt werden muß [1]).

Wenn sich indessen auch nicht zahlenmäßig das Alter der Höhlen angeben läßt, so ist der Geologe doch oftmals in der Lage, das geologische Alter der Höhle zu bestimmen, d. i. diejenige Periode in der Geschichte unserer Erde, in welche wir die Entstehung der Höhle zu verlegen haben. Mit einer solchen Altersbestimmung der Höhlen sind aber zahlenmäßige Angaben unvereinbar. Denn kein Mensch ist in der Lage, die enormen Zeiten zu berechnen, während welcher die verschiedenen Erdperioden geherrscht haben, während welcher die verschiedenen

---

[1]) Ein Mindestmaß für die Zeitdauer der Höhlenbildung könnte man vielleicht bei Quellhöhlen aus der Quantität des im Wasser gelösten Gesteines und dem Volumen der Höhle „berechnen". Wie vorsichtig man aber mit solchen Schlüssen sein muß, zeigt die Erwägung, daß die seit alten Zeiten bekannten Höhlen kaum nennenswerte Raumveränderungen erfahren haben, obwohl alljährlich viele Tausende von Cubikmetern Gesteines durch das Wasser gelöst und dem Gebirge entführt werden. Die Korrosion wirkt in der Quellhöhle selbst nicht so stark wie auf den zahllosen Rissen, auf welchen die Wasseradern dem Quellstrome zufließen.

für die betreffenden Perioden charakteristischen Lebewelten entstanden und vergangen sind.

Die Anhaltspunkte, welche wir zur geologischen Altersbestimmung einer Höhle haben, sind vorwiegend zweierlei Art: Einmal wissen wir, daß die Höhlen unbedingt jünger sein müssen, als das Gestein, in dem sie sich finden. Sodann aber sind des öfteren in den Höhlen Überreste ihrer alten Bewohner vorhanden. Die geologische Zeit, welcher jene ausgestorbene Höhlenfauna angehörte, ist also die andere Altersbegrenzung der Höhle. Somit ist zwischen die Entstehungszeit der Höhlengesteine und die geologische Zeit, in welcher die betreffende Höhlenfauna gelebt hat, der meist wohl recht lange geologische Zeitraum zu verlegen, während dessen die Höhlenbildung vor sich gegangen ist.

Vielfach treten noch andere geologische Gesichtspunkte hinzu, welche gestatten, die Altersbegrenzung der Höhlenbildung enger zu ziehen.

Dies ist z. B. der Fall in der Fränkischen Schweiz. Hier befinden sich die Höhlen in den jüngsten Gesteinen der Juraformation, in dem sogenannten Frankendolomit. Nach Abschluß der Jurazeit wurde Franken Festland und blieb es bis zur Jetztzeit. Es konnte somit während der Kreidezeit und während der Tertiärperiode bis zur Jetztzeit die Höhlenbildung vor sich gegangen sein. Nun finden sich aber in manchen Höhlen Überreste altquartärer Höhlenbewohner. Zu jener Zeit also, als die quartäre Erdperiode begann, jene Periode, in der wir uns heute noch befinden, da waren bereits Höhlen in Franken vorhanden.

Wir würden nach dem Gesagten die Bildungszeit der Höhlen Frankens in den langen, geologischen Zeitraum verlegen müssen, während dessen die Schichten der Kreideformation und der Tertiärformation sich niedergeschlagen haben. In diesem Falle aber können wir die Altersbestimmung der Höhlen noch enger begrenzen. Es fanden nämlich zu tertiärer Zeit jene gewaltigen Veränderungen in der Oberflächengestaltung unseres Kontinentes statt. Es entstanden die großen alpinen Gebirgszüge Europas. Um dieselbe Zeit barst auch das Tafelland, welches große Teile von Süddeutschland nördlich der Donau zusammensetzt. Die großen Verwerfungen und Schichtenverschiebungen entstanden, welche wir heute daselbst beobachten können. So ist das als fränkische Tafel bekannte Stück der Erdoberfläche durch ver-

schiedene Brüche zerschnitten, längs deren der westliche Teil um mehr oder weniger hohe Beträge abgesunken ist. Nun finden sich in unmittelbarer Nähe jener Bruchlinien (Verwerfungslinien) Höhlen. Wenn diese Höhlen bereits vorhanden gewesen wären zu jener Zeit, als jene Krustenbewegungen stattfanden, dann hätten sie ohne Zweifel einstürzen müssen.

In diesem Falle kommen wir also zu dem Ergebnis, daß die Höhlenbildung jünger ist als mitteltertiär, älter aber als altquartär.

Dies ist die genaueste Altersbestimmung, die sich durchführen läßt. Sie führt zu dem Ergebnis, daß die Höhlen, geologisch gesprochen, sehr jung sind. Im Verhältnis zu den bekannten historischen Zeiten sind aber jene Zeiten, welche seit Bildung der Höhlen verstrichen sind, sehr groß.

Das relative Alter der Höhlen läßt sich also nach dem Gesagten gelegentlich ermitteln, das absolute, d. h. zahlenmäßige Altersberechnung der Bildungszeit einer Höhle, ist aber undurchführbar.

9. Zusammenfassung. Das in diesem Kapitel Gesagte sei hier nochmals kurz rekapituliert: Die Korrosion wirkt in den Karstgebirgen unterirdisch, höhlenbildend; sie vermag alljährlich beträchtliche Gesteinsmengen dem Gebirge zu entziehen. So bilden sich im unterirdischen Zuzugsgebiet des Timavo Jahr um Jahr Hohlräume, deren Gesamtvolumen nicht weniger als 80000 cbm beträgt.

Als Zeugen der Abtragung durch die Korrosion können wir einerseits den Gehalt der Quellen an gelösten Mineralbestandteilen, andererseits die großen Quantitäten an unlöslicher Asche der Karstgesteine — Kalke und Dolomite — ansehen, welche sich oberirdisch als Terra rossa, unterirdisch als Höhlenlehm finden.

Gleichzeitig mit der Höhlenbildung vollzieht sich ein anderer der Höhlenbildung entgegengesetzter Vorgang: die Tropfsteinbildung. Indessen ist die Gesteinsquantität, welche in den Tropfsteinen ausgeschieden wird, weit kleiner als die, welche durch das Wasser aufgelöst wird; und zwar beträgt sie etwa ein Drittel der letzteren.

Die Höhlenbildung schreitet somit neben der Tropfsteinbildung fort. Nur scheinen im allgemeinen diejenigen Höhlen-

räume, welche Tropfsteine führen, in ihrer Bildung beendet zu sein. In ihnen scheidet sich nur noch Tropfstein aus, während an anderen Stellen des Gebirgsinnern neue Höhlen von der Korrosion geschaffen werden.

Die Zeitdauer der Höhlenbildung kann, wie wir sahen, ebensowenig rechnerisch ermittelt werden, wie die Bildungsdauer der Tropfsteine.

Siebentes Kapitel.

Die mechanische Tätigkeit des Wassers in bezug auf die Höhlenbildung.

Die Erosion des Wassers. — Erosion keine höhlenbildende, sondern nur umbildende Kraft. — Erosion als höhlenvernichtender Faktor. — Erosion in Durchgangshöhlen.

In dem vorigen Kapitel wurde gezeigt, daß die chemische Kraft des Wassers, die Korrosion, für sich allein genügt, um die Entstehung der Höhlen zu erklären. Neben der chemischen, korrodierenden Kraft des Wassers kommt aber auch des öfteren die mechanische, erodierende in Betracht.

Die Erosion wird vom Wasser in zweierlei Weise ausgeübt: entweder direkt durch die Heftigkeit des Anpralls oder indirekt, indem nicht das Wasser selbst, sondern die von ihm losgelösten Gesteinsteile die mechanische Wirkung verursachen.

Die erstere der beiden Arten von Erosion, jene durch das heftig bewegte Wasser allein bewirkte, ist wohl nur an der brandenden See oder als Unterwaschungen an steilen Ufern binnenländischer Gewässer zu beobachten. Die Strandhöhlen sind jedoch keine Höhlen im eigentlichen Sinne des Wortes. Es sind Vertiefungen im Gestein, wie solche durch jede Art der Denudation entstehen können. Der vom Winde bewegte Sand der Wüste höhlt die Felswände in gleicher Weise aus. Aber dies alles sind keine echten Höhlen. Daher hat man sie auch treffend als Halb-

höhlen bezeichnet. Wir werden in dem achtzehnten Kapitel über Halbhöhlen auf sie zurückzukommen haben.

Bei der Entstehung der echten Höhlen scheint es, als ob die durch das Wasser allein bewirkte Erosion nur ganz verschwindend in Betracht kommt. Wichtiger ist die Erosion, welche durch das Schaben der vom Wasser losgelösten und mitgeführten Gesteinsteile ausgeübt wird.

Teils ist es der im Wasser suspendierte feine Schlamm (die sogenannte Flußtrübe), teils sind es größere Blöcke, welche vom Wasser bewegt werden.

In manchen Höhlenflüssen finden sich auch Gerölle von Steinen, welche der Fluß mit sich geführt hat. Wo ein solcher Transport von Flußgeröllen stattfindet, da kann auch die Erosion größere Arbeit leisten. Indessen sind Gerölle in Höhlenflüssen im allgemeinen seltene Gebilde[1]). In größeren Mengen finden sie sich nur in den Teilen eines Höhlenflußbettes, wo heftige Stromschnellen vorhanden sind. In den tiefen Kesseln, in welche allgemein die Wasserfälle sich stürzen, kommen oftmals Gerölle vor. Hier besitzt das Wasser eine wirbelnde Bewegung; es reibt daher die einzelnen Gesteine aneinander, bis sie zu Geröllen werden. Die an solchen Stellen ausgeübte Erosion wird vielfach als Evorsion[2]) bezeichnet.

In den schlotförmig gestalteten, oben offenen Höhlen, den sogenannten Abgründen[3]), wirkt auch das Herabfallen der vom herabrieselnden Wasser losgelösten Gesteinsblöcke durch den häufigen Anprall an den Wandungen erodierend. Aber auch diese Form der Erosion ist in Höhlen nicht häufig und beschränkt sich

---

[1]) E. A. Martel gibt von verschiedenen Höhlenflüssen an, daß sie Gerölle führen, so die Poik in der Grotte von Adelsberg. Auch in den Höhlen von Miremont (Dordogne), Vercors, Bellegarde (Haute-Savoie) usw. finden sich solche. Der Höhlenfluß, welcher am Ende der im Jahre 1904 erschlossenen Sturmannshöhle im bayerischen Allgäu bei Obermeiselstein erreicht wurde, ist, wie Verfasser sich überzeugen konnte, an einer Stelle sehr stark geröllefűhrend. Aber auch hier sind die Gerölle nur auf einer kurzen Strecke des Baches verteilt.

[2]) Von „vortex“, der Wirbel.

[3]) In slawischen Ländern werden sie vielfach als „Brezdnos“ bezeichnet; brez = ohne, dno = Boden. Wörtlich übersetzt heißen jene in die Tiefe sich erstreckenden Höhlen „Ohneboden“.

— ebenso wie die Erosion durch Gerölle — nur auf bestimmte Teile einer Höhle, nicht aber auf ihre ganze Erstreckung.

Alle Formen der Erosion sind jedoch, wenn sie überhaupt auftreten, für die Bildung der Höhlen nicht von Belang gewesen. Die Erosion vermag es überhaupt nicht, Höhlen zu bilden, sondern nur schon vorhandene umzugestalten. Dies lehrt uns folgende Erwägung: Die mechanische Tätigkeit des Wassers wird nur dort einsetzen können, wo es fließt. Unterirdisch fließendes Wasser setzt aber die Präexistenz eines Höhlenraumes voraus, welcher wohl durch die Erosion erweitert werden kann; unmöglich aber kann er durch sie gebildet worden sein.

Als höhlen**bildende** Kraft kommt daher die Korrosion **allein** in Betracht. Und nur in manchen Fällen vermögen es erodierende Kräfte, sich mit der Wirkung der Korrosion zu summieren. Aber auch dies ist selten. Die Erosion ist somit keine höhlenbildende Kraft.

Es beruht daher auf Irrtum, wenn die Erosion, wie man in den meisten Lehrbüchern, welche Höhlen überhaupt erwähnen, lesen kann, zu den höhlenbildenden Kräften gezählt wird. Ja, Gesagtes kann man unseres Erachtens noch um vieles verschärft ausdrücken: Die Erosion ist nicht nur kein höhlenbildender Faktor, sondern sie ist im Gegenteil sogar ein die Höhlen ausfüllender — ein höhlenvernichtender Faktor.

Denn das durch erodierende Kräfte abgetragene Material sedimentiert sich wieder an anderen Stellen im Innern der Höhle; so entstehen Schuttlager. Wenn wir nun in Betracht ziehen, daß aufgeschüttetes Material ein bei weitem größeres Volumen einnimmt, als es ursprünglich im Zusammenhang als festes Gestein eingenommen hatte — es kommt ja das Porenvolumen [1]) hinzu — so ist es leicht zu erklären, daß die in Höhlen sich ansammelnden Schuttmassen zuweilen die ganze Höhle erfüllen können. Da durch solche Schuttlager die freie Zirkulation des Wassers sehr gehemmt wird (wenn nicht gar aufgehoben oder in benachbarte Gesteinspartien verlegt wird), so muß auch

---

[1]) Das Porenvolumen, das zwischen den Gesteinsfragmenten von Luft erfüllte Netz kleiner Hohlräume, ist stets beträchtlich. Bei locker aufgeschüttetem Sand kommt es dem Volumen der Körner gleich. In der Steinbruchsindustrie rechnet man auf 6 cbm Gesteinsschotter 5 cbm festen Fels. Das Porenvolumen wäre hier also $1/5$ des festen Gesteines.

gleichzeitig das Fortwachsen der Höhle durch die Erosion beeinträchtigt werden.

Da nun die Ansammlung von Gesteinsschutt in Höhlen eine Folgeerscheinung der Erosion ist, so ergibt sich, daß die Erosion eine höhlenvernichtende Wirkung ausübt.

Wenn wir daher oben gesagt haben, daß die Erosion die Höhlen zuweilen erweitert, so ist das, wie folgt, zu modifizieren:

Die Erosion vermag zuweilen gewisse Teile einer Höhle zu erweitern. Da sich das abgetragene Material aber zumeist im Innern der Höhle wieder sammelt, und dort ein größeres Volumen wie ehemals einnimmt, als es noch festes Gestein war, so bedeutet die lokale Erweiterung einer Höhle durch Erosion in Wirklichkeit eine Verengung des gesamten Höhlenraumes.

Wir sagten bezüglich des durch erodierende Kräfte abgetragenen Materiales, daß es zumeist in den Höhlen selbst wieder zur Sedimentation gelangt, und daß es in diesem Fall der Höhlenbildung entgegenwirkt.

In solchen Fällen aber, wo die Sedimentation nicht in der Höhle erfolgt, wie es z. B. in den sogenannten Durchgangshöhlen, den natürlichen Tunneln, der Fall ist, da kann allerdings auch die Erosion wirklich höhlenbildend, oder besser gesagt, höhlenerweiternd wirken.

Aber dies ist selten der Fall, denn die weitaus meisten Höhlen enden blind im Gestein. Das durch die Erosion entfernte Material muß daher in der Höhle selbst zur Sedimentation gelangen. Bezüglich der unterirdischen Flußläufe weiß man ferner, daß ihr Bett oft derart eingeengt, dann wieder stark erweitert ist, daß die Fortschaffung des durch Erosion entfernten Materiales auf größere Strecken unmöglich ist. Folglich werden auch diese Höhlen durch die Erosion in Wirklichkeit eingeengt [1]).

---

[1]) Es ist vielleicht denkbar, daß das mechanisch losgelöste und vom Fluß mitgeführte Gestein nachher chemisch gelöst und fortgeführt wird. Dann wäre es aber nicht die Erosion, sondern die Korrosion, welche höhlenbildend gewirkt hätte. Nun ist aber das Wasser, welches jene Schuttanhäufungen durchrieselt, zumeist schon vorher eine mit gelöstem Gestein gesättigte Lösung. Es vermag daher die Korrosion nicht etwa die Erosion so zu unterstützen, daß beide Kräfte als höhlenbildende angesehen werden können.

Nur wenige Höhlen bleiben daher, welche durch die Erosion erweitert werden können: es sind die sogenannten Durchgangshöhlen, welche das Wasser nach kurzem Lauf verläßt, so daß die erodierte Substanz außerhalb der Höhle niedergeschlagen werden kann.

Dies bleibt wohl der einzige Fall, in welchem eine Höhle durch Erosion wirklich erweitert werden könnte; diese einzige und zugleich sehr seltene Ausnahme ändert aber nichts an dem allgemeinen Gesetz, daß die Erosion als höhlen**bildender** Faktor in der Natur nicht genannt werden kann.

Achtes Kapitel.

Die Morphologie der Höhlen; natürliches System der Höhlenformen.

Verschiedenheiten der Höhlen. — Spaltenhöhlen. — Zerklüftungshöhlen. — Naturschächte. — Sickerwasserhöhlen. — Flußwasserhöhlen. — System.

Da wir gesehen haben, daß eine einzige Ursache es ist, welche die Höhlen bildet[1]), nämlich die chemische Kraft des Wassers, die Korrosion, so sollte man erwarten, daß ihr Produkt, die Höhlen, stets gleichartig gestaltet sei. In gewissem Sinne trifft dies auch zu. Verschiedene morphologische Eigentümlichkeiten kehren dem Grundsatze „gleiche Ursachen, gleiche Wirkungen" entsprechend, in nahezu allen Höhlen wieder. Aber nicht alle durch das Wasser gebildeten Höhlen besitzen darum gleichartige Formen. Denn die Form der Höhle wird durch den Weg bedingt, welchen das Wasser bei seiner unterirdischen Zirkulation

[1]) Wir meinen hier naturgemäß nur die wissenschaftlich bedeutendste Gruppe von Höhlen, deren Entstehung auf das Wasser zurückzuführen ist. Diese Höhlen sind es ja in erster Linie, welche eine wissenschaftliche „Höhlenkunde" zu berücksichtigen hat. Die nicht vom Wasser gebildeten Höhlen haben wir daher kurz zusammengefaßt und später angefügt.

benutzt. Dieser Weg ist aber wiederum durch eine andere Kraft vorausbestimmt: durch die gebirgsbildende Kraft. Diese hat die Spalten und Risse in der Erdkruste geschaffen, welche dem Wasser als Abzugskanäle dienen und aus deren Erweiterung sich die Höhlen gebildet haben.

Die Formen der Höhlen müssen somit durch die Zerklüftungsverhältnisse bedingt sein; und nur da, wo diese sich gleichen, schafft die Korrosion gleichartige Höhlen.

Wenn nun die Zerklüftung derart ist, daß wenige, aber große Klüfte vorhanden sind, so wird auf diesen das Wasser schnell in die Tiefe rieseln können und somit nur wenig vom Gestein aufzulösen imstande sein. Darum werden die aus Erweiterung solcher großen Spalten sich bildenden Höhlen niemals große Ausdehnung in die Breite besitzen.

Anders ist es, wenn zahlreiche, aber enge Spalten vorhanden sind. Auf diesen sickert das Wasser langsam in die Tiefe und vermag daher die volle Lösungskraft zu entfalten. Daher werden auf solche Weise große und weite Höhlenräume sich bilden können.

In bezug auf die Höhlen der Fränkischen Schweiz hat A. Neischl diesen Unterschied festgestellt. Spaltenhöhlen hat jener Autor die erstere Gruppe von Höhlen, Zerklüftungshöhlen die letztere benannt [1]). Wir müssen betonen, daß dieser Unterschied zwischen Spalten- und Zerklüftungshöhlen sich nicht nur in dem Höhlengebiete der Fränkischen Schweiz, sondern ganz allgemein aufrecht erhalten läßt, wenn auch zuweilen Übergänge zwischen diesen beiden Höhlentypen vorkommen (vgl. Fig. 4).

Ein weiterer morphologischer Unterschied der Höhlen ist dadurch bedingt, in welcher Weise das Wasser auf den Spalten herabsickert. Geschieht dies längs einer größeren Spalte, so wird diese zu einer Höhle von mehr oder weniger großer Horizontalerstreckung erweitert. Wenn dagegen das Wasser nur an einer besonders hierzu begünstigten Stelle einer Spalte in die Tiefe dringt, dann wird ein mehr oder weniger schlotartiger Höhlengang sich bilden, dessen Längserstreckung nicht in der Horizon-

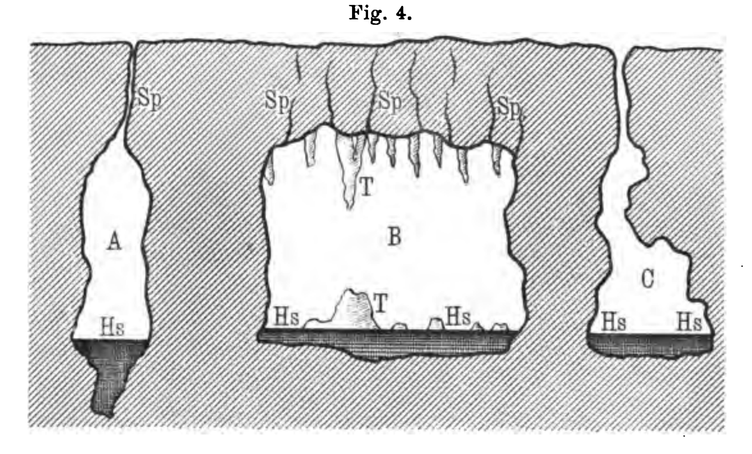
---

[1]) Der alte, von M. Schlosser gemachte Unterschied zwischen „Spaltenhöhlen“ und „Kammerhöhlen“ ist mit dieser Einteilung identisch.

talen, sondern in der Vertikalen liegt. Solche zur vertikalen Versickerung besonders begünstigste Stellen befinden sich namentlich dort, wo die Kreuzungslinien zweier Spaltungsflächen sich mit der Erdoberfläche schneiden. Besonders von solchen Punkten aus können sich jene als Naturschächte[1]) bezeichnete Höhlenschlote bilden.

Die hier genannten Höhlenformen sind alle Erzeugnisse der in die Tiefe rieselnden Sickerwasser; sie bilden eine genetisch zusammengehörige Höhlengruppe: die **Sickerwasserhöhlen,** so

Fig. 4.



Schematisches Bild der drei Arten von Sickerwasserhöhlen.
A Spaltenhöhle, *B* Zerklüftungshöhle, *C* Naturschacht, *Sp* Spalten, *Hs* Höhlensedimente, *T* Tropfsteingebilde.

wollen wir sie nennen. Ihnen steht eine zweite Gruppe von Höhlen gegenüber: die Wasserhöhlen, oder besser ausgedrückt die **Flußwasserhöhlen.**

Diese „Flußwasserhöhlen“ sind im Gegensatz zu den „Sickerhöhlen“ durch horizontal fließendes Grundwasser entstanden. Gleichzeitig mit diesen Höhlen haben sich die sie durchströmen-

---

1) Die Naturschächte werden vielfach als Dolinen von den Höhlen unterschieden und mit anderen Karstgebilden vereinigt. In dem Kapitel über Dolinen (§ 11) werden diese Höhlen daher eine genauere Erörterung finden. Unseres Erachtens sind aber auch die Naturschächte als echte Höhlen anzusehen.

den Höhlenflüsse[1]) gebildet. Diese Entstehungsart bedingt auch eine von den zuerstgenannten Sickerwasserhöhlen völlig abweichende Form. Zunächst ist ihre Längenerstreckung eine annähernd horizontale, bzw. schwach geneigte; der Boden dieser Höhlen zeigt wie die Sohle eines Flußbettes im allgemeinen ein stets gleichgerichtetes Gefälle, während der Boden der Sickerwasserhöhlen völlig ungleichmäßig gestaltet ist. Ferner sind die Sickerwasserhöhlen zumeist kleinere Räume von sehr verschiedenartiger Form und gewöhnlich von unbedeutender, selten mehrere hundert Meter erreichender Längenerstreckung. Die Flußwasserhöhlen sind im Gegensatz hierzu im allgemeinen ziemlich gleichartig gebaut, und zwar von tunnelartiger Gestalt; dabei sind sie oft von bedeutender, sogar zuweilen viele Kilometer erreichender Länge.

Entsprechend dem Umstande, daß die Höhlen unterirdischer Flüsse reichlich Wasser enthalten, ist die Luft dieser Flußwasserhöhlen meistenteils derart mit Feuchtigkeit gesättigt, daß keine Verdunstung eintreten kann. Infolgedessen entbehrt diese Gruppe von Höhlen des Schmuckes der Kalksinterbildungen, welche die Sickerwasserhöhlen oft so unvergleichlich zieren.

Tropfsteine besitzen im allgemeinen nur jene Flußwasserhöhlen, welche zwar ehemals als Flußbetten angelegt wurden, die aber jetzt vom Flusse verlassen sind; die Adelsberger Grotte bietet, wie wir wissen, ein Beispiel hierfür.

Als ein besonders klassisches Gebiet für die Sickerwasserhöhlen wollen wir den süddeutschen Jura, insonderheit den nordöstlichsten Teil desselben, die Fränkische Schweiz, nennen. Durch ihren Reichtum an Flußwasserhöhlen sind im Gegensatz zum Juragebirge die Karstländer Österreichs ausgezeichnet.

Nach dem Gesagten können wir die verschiedenen Höhlenbildungen in folgender Weise klassifizieren:

I. Sickerwasserhöhlen: Diese sind durch Sickerwasser gebildet, welches auf Spalten und Klüften mehr oder minder

[1]) Solche Höhlenflüsse finden sich in den meisten Karstgebieten, ja sie bilden sogar wohl das bedeutendste der „Karstphänomene“. Man kann die Höhlenflüsse daher geradezu als Karstflüsse bezeichnen. In den folgenden Kapiteln über Karstflüsse wird ihre Entstehung erörtert werden. Hier soll nur die Form dieser „Flußwasserhöhlen“ im Vergleich zu den „Sickerwasserhöhlen“ hervorgehoben werden.

vertikal in die Tiefe rieselt und auf dem Wege seine Lösungskraft entfaltend höhlenbildend wirkt. Hierzu gehören drei verschiedene Höhlentypen:

a) Die Spaltenhöhlen; meist enge Höhlen, welche aus einzelnen größeren Spalten hervorgegangen sind.
b) Die Zerklüftungshöhlen; weite Höhlen, die aus mehreren engen Spalten durch chemische Auflösung des dazwischen befindlichen Gesteines sich gebildet haben.
c) Die Naturschächte; Höhlen von vertikaler Längenerstreckung, die aus solchen Rissen in der Erdkruste hervorgegangen sind, welche der unmittelbar vertikalen Versickerung des Wassers besonders günstig waren.

II. Flußwasserhöhlen: Kanalartig gestaltete Höhlen von verhältnismäßig geringer Breiten- und Höhenerstreckung, dafür aber von oft bedeutender Länge.

Man könnte sie, wie dies von Cvijič geschehen ist, nach rein geographischen Gesichtspunkten einteilen in:

a) Höhlenflußbetten;
b) ehemalige Höhlenflußbetten.

Die hier gegebene Einteilung der vom Wasser gebildeten Höhlen ist wohl die einfachste der zahlreichen anderen bisher aufgestellten Klassifikationen [1]). Wir waren hierbei, wie aus dem Gesagten hervorgeht, stets bedacht, die morphologischen Verschiedenheiten der Höhlenbildung im Hinblick auf die genetischen zu erläutern.

Von diesem Gesichtspunkte aus haben wir auch unterlassen, z. B. die Gruppe der von Cvijič gesonderten Grundwasserhöhlen zu erwähnen. Diese Grundwasserhöhlen sind solche Höhlen, welche in so großer Tiefe angelegt sind, daß ihre Sohle in das Grundwasser hinabreicht. Wir möchten hierin jedoch nur einen zufälligen und nebensächlichen Unterschied gegenüber den anderen Sickerwasserhöhlen erblicken, so daß diese Höhlen keine besondere Stellung in der Höhlenklassifikation erheischen. Zudem ist der Grundwasserstand nicht allein jahreszeitlichen Schwankungen, sondern auch innerhalb großer Zeiträume periodischen Veränderungen unterworfen; hierbei kann leicht der Fall ein-

[1]) Vgl. das Schlußkapitel über Geschichte der Höhlenforschung.

treten, daß der Grundwasserspiegel derartig ansteigt, daß diese oder jene Sickerhöhle durch Hinabtauchen unter den Grundwasserspiegel zu einer „Grundwasserhöhle“ wird. Auch kann manche der jetzigen Grundwasserhöhlen ehemals eine trockene Sickerhöhle gewesen sein.

Für all die Höhlenbildungen sind teils in der geographischen, teils in der touristischen Literatur viele Namen zur Anwendung gelangt, von denen aber hier nur die wichtigsten und am meisten bezeichnenden genannt sind. Namentlich existieren für die Höhlen des Typus Ic, die Naturschächte, viele Bezeichnungen, welche durch Verwechselung und Vereinigung mit anderen, morphologisch ähnlichen, genetisch aber ganz verschiedenen Gebilden des Karstes zu einer Fülle meist fremdsprachlicher Namen geführt haben. Soweit diese, oft nicht einmal von Fachleuten gekannten Bezeichnungen eine innere Berechtigung haben, sind sie in dem Kapitel über Dolinen, mit welchen die Naturschächte vielfach vereinigt werden, tabellarisch nebeneinandergestellt.

Die erste Gruppe der Sickerwasserhöhlen ist weit größer, als die zweite der Flußwasserhöhlen. Da die ersteren wegen ihrer Tropfsteingebilde die schöneren sind, werden sie von Touristen mehr aufgesucht, als die kahlen Wasserhöhlen, in welche ein Eindringen zuweilen auch mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist.

In den folgenden Kapiteln, welche von den Höhlenflüssen oder „Karstflüssen“ handeln, wird die wissenschaftlich — geographisch wie geologisch — ungleich interessantere zweite Gruppe der durch das Wasser gebildeten Höhlen genauere Beschreibung finden; und es wird ihre niemals eingehend erklärte Entstehung hier nach wesentlich neuen Gesichtspunkten erörtert werden.

Neuntes Kapitel.

Höhlenflüsse.

1. Das Problem der Höhlenflüsse. — Praktische Bedeutung der Frage nach Höhlenflüssen. — Experimente. — Vorhandensein von Höhlenflüssen. — 2. Die unterirdische Donau-Rheinverbindung. — Donauschwinde. — Aachquelle. — Quelltöpfe. — Färbeversuche und deren Ergebnis. — 3. Der Höhlenfluß von St. Canzian im Karst (Reka). — Gefälle der Reka. — Trebičgrotte. — Timavo. — Aurisina. — Färbeversuche. — Geschwindigkeit des Wassers. — 4. System von Höhlenflüssen im Zuzugsgebiet der Laibach (Poik, Zirknitzer Fluß, Unz, Laibach). — Adelsberg-Otoker Grotten. — Siphone. — Černa Jama. — Magdalenaschacht. — Poikhöhle. — Kolečinka. — Planinagrotte. — Zirknitzer See. — Rackbach. — Planinapolje. — Pod stenami. — Laibachmoräste.

---

1. Das Problem der Höhlenflüsse. In dem Kapitel über Verkarstung war gezeigt worden, daß in den verkarsteten Gebieten das Wasser zunächst mehr oder weniger vertikal, d. h. in der Richtung des geringsten Widerstandes in die Tiefe dringt. Dort aber sammeln sich die Wasser des öfteren zu unterirdischen Flüssen an, welche auf große Strecken tunnelartig gestaltete Höhlen durchlaufen. So entstehen die Höhlenflüsse des Karstes, kurzweg auch Karstflüsse genannt. Sie sind das eigenartigste Gebilde der Karstgebiete.

Namentlich im Krainer Karst sind die Höhlenflüsse seit langen Zeiten bekannt und bewundert worden.

Dort befinden sich, in die Karsthochfläche eingesenkt, eine Reihe größerer Depressionen, welche von allen Seiten vom Gebirge umrahmt sind. Es sind die Poljen, auch Kesseltäler genannt. In diesen Poljen tritt dann vielfach das ins Gebirge eingedrungene Wasser in Gestalt von Flüssen zutage.

So werden viele der Kesseltäler von einem Flußbette durchzogen, welches indessen nur so lang ist, als das Kesseltal selbst. Am Rande des letzteren verlieren sich die Wasser, indem sie entweder, wie bei Adelsberg und Zirknitz, in große Höhlen strömen oder, indem sie zwischen einzelnen engen Felsspalten in die Tiefe

rieseln. Am schönsten ist diese letztere Art von Flußschwinde am Ende des Planinapolje zu beobachten[1]. Schlundlöcher, Sauglöcher, Wasserschlinger oder Ponore[2]) werden diese Abzugsventile benannt.

Im Innern des Gebirges fließen die in Ponoren zum Abfluß gelangten Wassermassen weiter; zunächst wissen wir aber nicht, in welcher Weise: ob zusammenhängend als Fluß, oder in Klüfte verteilt als Grundwasser. Schließlich gelangt das Wasser an einer anderen Depression wieder ans Tageslicht. Dann entsteht jedoch kein gewöhnlicher Quell, sondern es tritt an dieser Stelle erneuten Hervorbrechens ein größerer Fluß zutage, welcher durch seine Wassermasse ein großes — wenngleich unterirdisches — Zuzugsgebiet verrät.

Die Austrittspunkte solcher flußartiger Wassermassen werden als „Vauclusequellen" bezeichnet. Bei der Aufzählung der Karstphänomene haben wir ihrer bereits Erwähnung getan. Auch „Riesenquellen" hat man sie treffend benannt.

Das Gebiet zwischen dem Orte des Verschwindens eines Wasserlaufes, der sogenannten „Schwinde", und dem Hervorbrechen einer Riesenquelle birgt nun in seinem Innern eine Fülle von Problemen, deren Lösung die vornehmste Aufgabe der Höhlenkunde ist.

Namentlich zwei große Probleme sind es, welche ein solches Gebiet dem Beobachter stellt: 1. Was wird aus dem Wasser, welches in Ponoren verschwindet? 2. woher kommen die Wasser der Vauclusequellen?

Die letztere Frage bezüglich der Vauclusequellen können wir auch wie folgt fassen: Sind diese Quellen wie andere Quellen als hervorbrechendes Grundwasser anzusehen?

---

[1]) Pod stenami = „unter den (Fels-) Wänden" ist die Stelle benannt, an welcher die Unz verschwindet, jener Fluß, welcher das nördlich von Adelsberg gelegene Planinapolje durchfließt.

[2]) Ponor ist ein südslawisches Wort, welches für die Schlundtrichter oder Wasserschlinger angewandt wird, es hat als wissenschaftlicher Fachausdruck überall Eingang gefunden. Das auch als Ortsname gebrauchte Wort Ponikva bedeutet das gleiche. Die Bezeichnungen „Schlundlöcher", „Wasserschlinger" usw. sind besser zu vermeiden, da sie leicht zu Verwechselungen mit anderen Karstgebilden führen (vgl. Kap. XV).

oder bedeuten sie den Austrittspunkt eines unterirdischen Flusses?

Die andere Frage bezüglich der Ponore aber stellen wir folgendermaßen: Werden die Wassermassen, welche in Ponoren verschwinden, als unterirdischer Strom in Zusammenhang bleiben, oder aber werden sie sich zwischen Klüften und Spalten verteilen, bis sie schließlich nicht mehr als Flüsse, sondern als Grundwasser zu betrachten sind?

Beiden Fragen vereint können wir auch die folgende Fassung geben: Besteht zwischen Ponoren und Vauclusequellen ein kanalartig gestaltetes Höhlensystem, welches den Wassermassen als Flußbett dient — oder ist zwischen beiden nur Grundwasser vorhanden, welchem das in Ponoren verschwindende Wasser zuströmt, das in Vauclusequellen zutage tretende aber enteilt?

Die Auffassung, daß ein unterirdisches Flußbett die Verbindung zwischen Ponoren und Quellen herstelle, ist früher die allgemein herrschende gewesen. Ihr ist aber in neuerer Zeit A. Grund in seiner Karsthydrographie auf das heftigste entgegengetreten. Er hat auf Grund seiner namentlich den bosnischen Karst betreffenden Studien die andere Theorie aufgestellt, nämlich, daß die in Ponoren verschwindenden Flüsse dem Grundwasser zuströmen und letzteres wiederum an anderer Stelle als Vauclusequelle zutage tritt. Die Annahme der Existenz unterirdischer Flüsse wird also von Grund geradezu verworfen [1]).

Wie schon gesagt, ist es der vornehmsten Aufgaben eine, welche der Höhlenforschung gestellt wird, die Wege des unterirdisch kursierenden Wassers festzustellen. Könnte man den geheimnisvollen Lauf des Wassers verfolgen, so wäre diese Frage bald zu entscheiden. Dies ist aber nicht der Fall. Denn versucht man, von den Ponoren aus dem Laufe des Wassers zu folgen, so ist man fast stets an Stellen gekommen, wo die Höhlendecke sich bis auf den Wasserspiegel herabsenkt, wo das Wasserbett sich verengt und dem weiteren Vordringen des Menschen Einhalt gebietet.

---

[1]) A. Grund, Die Karsthydrographie, Leipzig 1903.

An solchen Stellen staut sich das Wasser oft so heftig, daß es scheinbar überhaupt zu fließen aufhört und man daher kaum noch von einem „Flusse“ reden kann. Darum nimmt auch A. Grund an, daß das Wasser hierselbst aufgehört hat, ein Fluß zu sein, sondern einfach ins Grundwasser übergegangen ist. Wäre dem wirklich so, dann würden allerdings alle unsere bisherigen Anschauungen von den hydrographischen Verhältnissen des Karstes tief erschüttert.

Diese Frage ist übrigens durchaus nicht eine rein wissenschaftliche; vielmehr greift sie in ungeahnter Weise tief in das menschliche Leben der jene Karstgebiete bewohnenden Völker ein. Denn die Karstländer sind, wie wir wissen, in hohem Maße unfruchtbar; nur die Depressionen des Karstes, insonderheit die Kesseltäler, sind für die Landwirtschaft geeigneter. Nun werden aber gerade jene Kesseltäler oft von den furchtbarsten Überschwemmungen verwüstet, so daß die Bewohner der ohnedies armen Länder auf das empfindlichste geschädigt werden.

Wenn diese dem Wohlstand des Landes so schädlichen Überschwemmungen durch die Höhlenflüsse bedingt wären, welche in die Kesseltäler eintreten und an deren Ende abermals in das Gebirge eintreten, dann könnte man durch geeignete Regulierung der Zu- und Abflüsse des Wassers den durch die Überschwemmungen hervorgerufenen Schaden verringern. Im anderen Falle aber, wenn die Überschwemmungen nicht durch das Hochwasser der Höhlenflüsse, sondern durch starkes Ansteigen des Grundwassers entständen, wie es die neuerdings vielfach vertretene Theorie Grunds aussagt, dann wären jene Poljeninundationen unabwendbar für ewige Zeiten eine dauernde Quelle des Elends.

Die Frage nach der Existenz von Höhlenflüssen ist somit auch von praktischer Bedeutung.

Da die Hindernisse, welche sich dem Befahren der unterirdischen Wasserstraßen entgegenstellen, so bedeutende sind, daß sie zumeist nur auf verhältnismäßig kurze Strecken überwunden werden können, so muß man andere Methoden anwenden können, die Verhältnisse klarzulegen.

Wenn nämlich zwischen Ponoren und Vauclusequellen das Wasser im Zusammenhang ein Höhlensystem durchfließt, so müßten die vom Wasser in die Tiefe mitgenommenen Triftgegen-

stände doch an der Ausflußstelle wieder zum Vorschein gelangen. Es ist aber fast nie gelungen, den Zusammenhang zwischen Ponor und Quelle auf diese Weise experimentell nachzuweisen. Zwar wird von fast allen Riesenquellen (z. B. der Vaucluse selbst, dem Timavo u. a. m.) im Volksmunde erzählt, daß des öfteren Gegenstände — meist ist es der Stab eines im Gebirge irgendwo verunglückten Hirten und andere Dinge [1]) — von den Vauclusequellen ausgespien seien; aber alle diese Angaben sind niemals von einwandfreier Stelle niedergelegt. Experimente dieser Art haben nie den gewünschten Erfolg gehabt.

Können wir hierin aber einen Beweis erblicken, daß das Wasser gar nicht in unterirdischen Tunneln fließt? Wir verneinen diese Frage, denn in die Ponore werden, namentlich bei Überschwemmungen, Baumstämme und Äste sowie Reisig in großen Mengen hineingeschwemmt, welche alle in Verengungen der Höhle sich verkeilen; diese eingeschwemmten Massen werden zwar dem Wasser den Durchgang nicht verwehren, aber sie werden, wie ein Wasserrechen wirkend, alle vom Flusse mitgenommenen Triftgegenstände festhalten. Daher ist es leicht einzusehen, warum Versuche, den Zusammenhang unterirdischer Wassermassen durch Triftgegenstände — auch wenn sie noch so fein sind (z. B. Sägespäne, Holzwolle) — zu erforschen, nie Erfolg gehabt haben und auch nicht haben konnten.

Besser als Triftgegenstände erweisen sich Färbemittel. Durch verhältnismäßig geringe Quantitäten der stark färbenden Anilinfarbstoffe ist man jetzt in der Lage, das gesamte Wasser eines Flusses zu färben. Wenn man nun das Wasser oberhalb der Ponore färbt, so sollte man doch erwarten, daß nach einiger Zeit die Vauclusequelle gefärbt zum Vorschein komme.

Aber auch diese Färbungsversuche waren meistens ergebnislos. Nur in wenigen Fällen gelang es, den unterirdischen Zusammenhang von Wasserläufen auf diese Art zu ermitteln.

---

[1]) Von der Riesenquelle der Aach, aus welcher das bei Immendingen versickernde Donauwasser hervortritt, wird sogar behauptet, daß eine Ente aus Immendingen die unterirdische Wanderung gemacht und fröhlich schnatternd hervorgekommen sei! Das Beispiel, die „Ente“, zeigt, daß solchen Berichten nie recht zu trauen ist, sondern nur das Experiment entscheiden kann.

Dies ist ein gewichtiges Argument für die Ansicht Grunds, nach welcher der direkte flußartige Zusammenhang zwischen Ponor und Quelle nicht besteht, sondern die Verbindung durch die Grundwassermassen allein vermittelt werde, in welche auf einer Seite der Fluß einmündet, während auf der anderen dem Grundwasser ein großer Quell entströmt. Die gewaltigen Grundwassermassen würden nämlich das ihnen zuströmende gefärbte Wasser derart verdünnen, daß eine Färbung nicht mehr wahrzunehmen ist und die Quellen daher farblos erscheinen müßten. Wenn daher die Färbeversuche resultatlos blieben, so könnte man glauben, daß die Vauclusequellen dem Grundwasser entströmen.

Aber auch die meist negativen Ergebnisse der Färbungsversuche wollen mir für die Theorie Grunds nicht als beweisend erscheinen, und zwar aus zwei Gründen: Erstens ist die Färbemethode in verschiedenen Fällen immerhin von Erfolg gewesen, und zweitens haben die Versuche mit Färbemitteln uns eigenartige Ergebnisse bezüglich der Geschwindigkeit des fließenden Wassers gelehrt.

Da die Färbeversuche doch in einer ganzen Reihe von Fällen Erfolg gehabt haben, ist bezüglich jener Orte wenigstens unstreitig der direkte Zusammenhang zwischen Ponor und Quelle festgestellt. Denn man kann unmöglich annehmen, daß durch die kleinen Mengen Farbstoffs nicht nur das Flußwasser, sondern auch das gesamte Grundwasser gefärbt worden ist.

Durch den Erfolg dieser Färbeversuche ist somit der Beweis erbracht, daß in der Natur tatsächlich unterirdische Flüsse vorhanden sind. Und wenn nun auch in vielen Fällen das Grundwasser den Übergang zwischen dem in Sauglöchern verschwindenden und in Vauclusequellen zutage tretenden Wasser bilden mag, so ist doch daran festzuhalten, daß es auch Fälle gibt, wo dies erwiesenermaßen nicht der Fall ist, wo die Wassermassen als Höhlenfluß gesammelt das Gebirge durchqueren.

Wir werden den nun folgenden Studien über Höhlenflüsse drei Beispiele zugrunde legen:

1. die unterirdische Donau-Rheinverbindung;
2. den Höhlenfluß von St. Canzian (Reka) } im Karst.
3. die Poik-Unz-Laibach-Höhlen } im Karst.

2. Die unterirdische Donau-Rheinverbindung. Eines der besten Beispiele aus der Reihe der mit Sicherheit als echte Höhlenflüsse erwiesenen Wasserläufe ist die unterirdische Verbindung zwischen Donau und Rhein.

Die Donau verliert in ihrem Oberlauf, namentlich bei Immendingen, an einer Reihe von Stellen beträchtliche Wassermassen. Das Flußbett ist leck und auf einer großen Anzahl von Sauglöchern im kalkigen Untergrund strudelt das Wasser in die Tiefe. Auf diese Weise verschwindet im Sommer, wenn die Donau wasserarm ist, der genannte Fluß, so daß das oberirdische Flußbett ausgetrocknet daliegt. An durchschnittlich 77 Tagen im Jahre ist dies der Fall.

In einer Entfernung von 12½ km kommt eine mächtige Quelle zum Vorschein, die größte Deutschlands: es ist die Quelle der Aach, auch Hegauer oder Rudolfszeller Aach genannt, jenes Flusses, welcher, in zahlreichen Windungen an den malerischen erloschenen Vulkankegeln des Hegan vorüberziehend, dem Unteren See zueilt. Die Aach führt, wie eine Reihe von planmäßig vorgenommenen Untersuchungen gezeigt hat, die bei Immendingen versinkenden Donauwasser zum Rhein.

Die Höhlengänge, welche die Donau zwischen Immendingen und der bei der gleichnamigen Stadt gelegenen Aachquelle durchläuft, sind unzugänglich. Die Ponore sind eng und lassen allein den Wassern den Eintritt. Nur das gurgelnde Geräusch, welches zuweilen wahrgenommen werden kann, legt Zeugnis ab von dem Vorhandensein von Höhlungen, in welchen das versinkende Wasser dahinrauscht.

Auch die Quellspalten bei Aach, aus welchen die Donauwasser als Aach wieder hervortreten, sind unzugänglich; denn die Aachquelle ist ein sogenannter Quelltopf, eine Vertiefung, aus deren Boden das Wasser emporsprudelt. Wenn man also von der Quelle aus den Wassertunnel zwischen Immendingen und Aach erreichen wollte, so könnte dies nur durch einen Taucher geschehen — ein Versuch, der tatsächlich ausgeführt worden ist, aber zu keinem Resultate führte, weil die Wasser vom Boden des Quelltopfes derart heftig emporsprudelten, daß der Taucher nicht vermochte, in die Quellöffnungen hineinzukommen [1]). Die Tiefe des Quelltopfes

---

[1]) Vgl. Mitteil. d. Großherzogl. bad. geol. Landesanst. **1**, 804.

beträgt, wie damals ermittelt wurde, 12 m; und die Quellöffnung an dessen Boden hatte etwa 4 Fuß im Geviert.

Quelltöpfe sind in Karstgebirgen häufige Erscheinungen. Im Gebiete des Schwäbischen Jura finden sich zahlreiche; die Quelltöpfe der Brenz bei Königsbronn, der Blau bei Blaubeuren sind wohl die bekanntesten von ihnen. Der Quelltopf der Aach ist der größte von allen; 2000 Quadratmeter umfaßt die Oberfläche des in dem Quelltopf befindlichen Sees, an dessen Boden im Durchschnitt nicht weniger als 7000 Liter Wasser jede Sekunde hervorsprudeln.

Die Tiefe des Aachtopfes erreicht 12 m, die des Blautopfes sogar 20 m; die größte Tiefe des Brenztopfes beträgt hingegen nur 5 m.

Die Entstehung der Quelltöpfe ist nicht leicht zu erklären; sie befinden sich stets da, wo unter großem Drucke befindliches Wasser vertikal emporsprudelt. Bezüglich des Aachtopfes wurde seinerzeit von K. Endriss der Versuch gemacht, die Entstehung desselben auf die Wirkung der Gletscher in der Eiszeit zurückzuführen. Diese hätten durch Absatz mächtiger Lagen von Gesteinsschutt die Quellöffnung verstopft; durch den Druck des hervorbrechenden Donauwassers aber seien diese Massen an den Quellspalten entfernt und so sei dann die topfartige Gestalt der Quelle entstanden.

Gegen diese Theorie von der Entstehung eines Quelltopfes sprechen indessen zwei Gründe: 1. scheinen die örtlichen geologischen Verhältnisse am Aachtopf sie nicht zu rechtfertigen; 2. wird durch diese Theorie nicht das Auftreten der „Quelltöpfe“ auch in den Gebieten ohne ehemalige Vergletscherung erklärt, denn die Quelltöpfe sind sicherlich wohl alle in derselben Weise entstanden.

Da in den Quelltöpfen meist das Wasser nur vom Boden aus hervorsprudelt, so sind die Höhlengänge, auf welchen das Wasser zum Quelltopf dahinfließend gelangt, von letzterem aus nicht passierbar. Wollte man dennoch in den Höhlentunnel gelangen, welchen das unterirdisch fließende Wasser als Flußbett benutzt, so könnte dies nur von den Ponoren aus geschehen; in unserem Falle also müßte man von den Donauponoren bei Immendingen ausgehen. Diese aber sind ebenfalls nur ganz eng und lassen allein den Wassermassen den Durchgang.

Daß aber ein flußartiger Zusammenhang zwischen der Donau und der Aach besteht, ist durch die gleich zu erörternden Experimente mit Sicherheit erwiesen. Man kann daher, wie wir sehen werden, hier nicht etwa im Sinne Grunds an einen Übergang des Donauwassers in das Grundwasser und von diesem wieder in die Aach denken, sondern man muß sich die Verbindung als echten Höhlenfluß vorstellen.

Die Stelle des Verschwindens der Donau ist 170 m höher gelegen als die Quelle der Aach, in der sie wieder zum Vorschein kommt. Dieser bedeutende Niveauunterschied wird auf der kurzen Strecke von nur 12½ km zurückgelegt; das macht ein Gefälle von 13,6 m pro Kilometer.

Vergleichen wir das Gefälle dieses Höhlenflusses mit dem anderer Flüsse, so erkennen wir, daß es ein sehr großes ist, denn das Gefälle beträgt bei

der (oberirdischen) Donau zwischen Donaueschingen und Ulm	1,4 m pro km
dem Rhein zwischen Basel und Mainz	0,5 m „ „
der Elbe zwischen Magdeburg und Hamburg (Vierlande)	0,16 m „ „

Das Gefälle unseres Höhlenflusses zwischen Immendingen und Aach ist also das Zehnfache der oberirdischen Donau und mehr als das Achtzigfache der unteren Elbe!

Man sollte daher vermeinen, daß das Wasser bei diesem hohen Gefälle die kurze Strecke von 12½ km schnell passieren würde. Wenn also das Wasser, bevor es in den Sauglöchern bei Immendingen verschwindet, gefärbt würde, so müßte nach kurzer Zeit am Quelltopf der Aach das Wasser gefärbt hervorsprudeln. Wie die diesbezüglichen Versuche gelehrt haben, ist dies aber nicht der Fall. Nahezu 3 Tage (60 Stunden) braucht das Wasser, um bis zum Aachtopf zu gelangen.

Dreimal sind Versuche gemacht worden, den Zusammenhang zwischen Donau und Aach festzustellen; einmal mit Petroleum, einmal mit Fluoresceïn und einmal mit einer Lösung von Steinsalz [1]).

---

[1]) Es kamen bei diesen (im Jahre 1876 angestellten) Versuchen zur Verwendung: 1. 4 Fässer Schieferöl; 2. 10 kg Fluoresceïn in Natronlauge gelöst; 3. 200 Zentner unreines Steinsalz (Salinensalz).

3. Der Höhlenfluß von St. Canzian im Karst (Reka). Die Reka[1]) entspringt etwa 15 km nördlich von Castua in den zumeist wasserführenden alttertiären (eocänen) Sandsteinen, welche an einigen Stellen die der Kreideformation angehörigen Karstkalke überlagern. Da, wo die Reka diese jüngeren, wasserundurchlässigen Schichten verläßt und den klüftigen Boden des Karstes betritt, da erleidet sie (analog der Donau bei Immendingen) Verluste an Wasser. Diese bei Ober-Urem befindlichen Sauglöcher sind indessen bis jetzt noch zu unbedeutend, als daß der ganze Fluß durch sie abgezapft werden könnte. Der Fluß fließt daher in seinem Bette in westnordwestlicher Richtung noch etwa 7 km weiter, woselbst eine steile, etwa 100 m hohe Felswand ihm den Weg verlegt. Aber diese Felswand ist durchbrochen: eine tunnelartig gestaltete Höhle — am Einfluß der Reka heißt sie Mahorčičgrotte, am Ausfluß Marinitschgrotte — von nur 300 m Länge durchsetzt den das Tal abdämmenden Gebirgswall, auf dessen Höhe das Dorf St. Canzian gelegen ist.

Dann fließt die Reka wieder an der Oberfläche, aber nicht mehr in einem Tale, sondern am Boden einer, oder besser gesagt zweier kesselförmiger Vertiefungen, welche durch einen schmalen Felsgrat voneinander getrennt sind. Die erste derselben wird die Kleine, die zweite die Große Doline genannt.

Am Ende der zweiten, der Großen Doline, tritt die Reka wiederum in das Gebirge ein; hier ist der Eingang zu den berühmten Höhlen von St. Canzian, in welchen die Wasser der Reka noch auf einer Strecke von 2100 m zu verfolgen sind, bis sie endlich auf völlig unbeschreitbarem Wege weiterfließend in unbekannte Tiefen verschwinden, um von nun ab nicht mehr ans Tageslicht zu kommen.

Die beiden Dolinen, an deren Boden die Reka dahinfließt, sind sicherlich durch Einstürze domartig gestalterer Teile der einstigen Tunnelhöhle entstanden. Auch an der Decke der Mahorčičhöhle kann man einen natürlichen Lichtschacht beobachten, welcher 80 m in vertikaler Richtung von der Höhlendecke aus aufwärts zur Oberfläche jenes Gebirgswalles hinführt, der zum

---

[1]) Reka bedeutet slovenisch „Fluß". Es ist bezeichnend für die Armut jenes Landes an fließendem Wasser, daß man diesen kleinen Fluß kurzweg Reka — Fluß — benennt!

erstenmal der Reka den Weg verlegt und auf welchem das Dorf St. Canzian liegt. Hoch oben am Rande jenes Naturschachtes kann man das Rauschen der Reka vernehmen, welche tief unten mit scheinbar schwindelnder Geschwindigkeit, zahlreiche Wasserfälle bildend, dahinschießt.

Die Rekahöhlen sind, wie alle Wasserhöhlen, arm an Tropfsteinen. Nur in einzelnen der Seitenhöhlen finden sich reichere Tropfsteinbildungen. Wenn indessen auch den Rekahöhlen der Schmuck der Tropfsteine abgeht, so sind diese Höhlen dennoch das großartigste Naturwunder des Krainer Karstes; und zwar einmal durch die bedeutenden Dimensionen der Hallen, welche die Reka durcheilt, sodann aber auch durch die Gewalt des Flusses, welcher auf der kurzen Strecke von nur 3 km mehr als 30 Kaskaden überwindet und dabei gewaltige Blöcke mit sich wälzt.

Was die Dimensionen jener Höhlen betrifft, so befinden sich in den Rekahöhlen wohl die höchsten Höhlenräume, welche man kennt. Zuweilen erhebt sich die Decke 60 und 80 m über den Boden. Dazwischen aber senkt sich die Höhlendecke zuweilen bis auf eine Tiefe von nur (!) 30 m über der Sohle der Reka. Man hat diese gewaltigen Hohlräume in der Erde mit den größten Bauten zu vergleichen versucht, welche Menschenhand aufgeführt hat; so hat man die einzelnen Höhlengewölbe als „Dome“ bezeichnet — wenngleich wohl nur wenige Dome gebaut sein mögen, welche in ihren Dimensionen sich mit denen der Rekahöhlen messen könnten.

Die Breite der Rekahöhlen ist im Verhältnis zur Höhe zumeist gering, so daß die Grotte auf ihrer ganzen Erstreckung einen „klammartigen“ Eindruck macht. Steil erheben sich die unterirdischen Flußufer, so daß stellenweise nur mit den größten Mühen der Weg geschaffen werden konnte, welchen die Besucher der Höhle jetzt benutzen — nicht erst zu gedenken der Mühen und Gefahren, die es den ersten Erforschern der Höhle gekostet hat, sie zu erschließen [1]).

Die Reka schießt in ihrem Höhlenbett über eine große Reihe

---

[1]) Die Erschließung der Rekahöhlen verdanken wir in erster Linie den Arbeiten der Sektion Küstenland des Deutsch-Österreichischen Alpenvereins, insonderheit dem unermüdlichen Eifer des derzeitigen Vorstandes jener Sektion, des Herrn Friedrich Müller zu Triest.

von Abstürzen hinweg, so daß sie zahlreiche Wasserfälle bildet. Vom Eingange der Mahorčičhöhle bis zum See des Todes, dem Ende der Reka, sind nicht weniger als 28 Wasserfälle!

Infolge des hohen Gefälles kann in den Rekahöhlen das Wasser auch seine mechanische Kraft entfalten. Wir haben zuvor gesagt, daß zuweilen große Blöcke von der Reka transportiert werden. Neben diesen kommen aber auch zahlreiche Flußgerölle vor, welche zuweilen sogar in solchen Mengen auftreten, daß große Teile des Flußbettes völlig mit ihnen ausgekleidet sind. Die Verfrachtung dieser Gerölle durch die Fluten der Reka bewirkt natürlich infolge der hierbei stattfindenden Schabung eine Vertiefung des Flußbettes. Wahrscheinlich ist daher auch, daß die bedeutende Höhe der Höhlen auf eine entsprechende Vertiefung des Flußbettes infolge der Erosion zurückzuführen ist.

Aber auch hier müssen wir das aufrecht erhalten, was wir im VII. Kapitel gesagt haben, nämlich, daß die Erosion keine höhlenbildende, sondern nur eine höhlenumbildende Kraft ist. Und zwar findet diese Umbildung nur auf einzelnen Teilen der Höhle statt, während andere Teile davon völlig unberührt bleiben.

Zudem hat auch hier die Erosion naturgemäß erst einsetzen können, als das Höhlenflußbett bereits vorhanden war. Aber an der Ausgestaltung des Höhlenbettes der Reka zu jenen gewaltigen Höhlen hat die Erosion tätig mitgearbeitet. Am Ende der Höhle aber stauen sich die Wasser und verlieren sich in einem verhältnismäßig engen Loche, das unmöglich für einen Menschen zu passieren ist, zumal Baumstämme und zahlreiches Gestrüpp, welches von der Reka mitgerissen worden ist, sich dort verkeilt hat. Hier also hat die Erosion gar nichts zu leisten vermocht, während dort wenigstens teilweise von ihr jene gewaltigen Höhlenräume gebildet wurden!

Die Reka bietet uns ein Bild, wie wir uns die unterirdische Donau-Rheinverbindung zu denken haben — nämlich als einen Höhlenfluß mit bedeutendem Gefälle und sicherlich vielen Wasserfällen. Nur sind wir bei der Donau-Rheinverbindung in der glücklichen Lage, zu wissen, wohin das bei Immendingen verschwindende Wasser fließt. Durch Färbeversuche und durch die Versalzungsprobe konnte dies festgestellt werden. Bezüglich der Reka aber herrscht vollständige Unkenntnis, wohin sie zieht.

13 km vom letzten bekannten Ende der Reka entfernt ist am Boden der 322 m tiefen Lindnerhöhle bei Trebič ein Fluß vorhanden, welcher seit dessen Entdeckung durch Lindner in der Mitte des vorigen Jahrhunderts immer als die St. Canzianer Reka — und auch wohl mit Recht — angesprochen wurde.

Der Wasserspiegel jenes Flusses befindet sich nur 19 m über der Adria. Das hintere Ende der St. Canzianer Höhlen dagegen liegt 175 m hoch [1]). Vorausgesetzt, daß die Reka es ist, welche in der Trebičhöhle fließt, besitzt der Höhlenfluß vom Eintritt in die Grottenwelt (in der Mahorčičhöhle) aus bis hierher ein durchschnittliches Gefälle von 23,6 m pro Kilometer (= 2,36 Proz.). Dies Gefälle übertrifft also das zu 1,36 Proz. ermittelte Gefälle des Donau-Aach-Höhlenflusses um ein Beträchtliches.

Wenn nun auch der Lauf der Reka bis zur Trebičhöhle als bekannt anzusehen ist, so fehlt aber von dann ab jede Spur des Flusses; niemand weiß, wohin er sich wendet.

Längs der Adriatischen Küste, im Meerbusen von Triest, woselbst die Stelle erneuten Hervorbrechens der Reka zu suchen wäre, sind nur zwei große Quellen bekannt, welche der Reka ihr Wasser verdanken könnten: Die acht Quellen der Aurisinawasserleitung nordwestlich von Triest und die Quellen des schon öfter genannten Timavo bei San Giovanni di Duino.

Die Quellen der Aurisina sind indessen zu gering, um als Wiederaustritte der St. Canzianer Reka betrachtet zu werden [2]), und der Timavo ist zu weit entfernt und das Gefälle zu ihm hin allzu gering, als daß dies wahrscheinlich wäre.

Gleichwohl hat man seit langen Zeiten die Quellen des Timavo als Wiederaustrittsstelle der Reka angesehen [3]). Nun befinden sich aber die Timavoquellen nur etwa 18 m unter dem Spiegel

---

[1]) Nach anderen Angaben 200 m; 175 m scheint wohl die genauere Höhenangabe zu sein.

[2]) Die Reka führt nach Marinitsch durchschnittlich 90 000 cbm pro Tag; die Aurisinaquellen aber liefern nur 20 000 cbm, wenn reichlich Wasser fließt, ihr Betrag sinkt aber auf 6400 cbm in der trockenen Zeit. Die Wassermenge der Reka schwankt bedeutend. Bei sehr geringem Wasserstande führt sie täglich nur 5000 cbm, bei hohem Wasserstande aber zuweilen mehr als 600 000 cbm! Die Timavoquellen liefern pro Tag etwa 2 300 000 cbm Wasser.

[3]) A. Kircher, e. S. J. Mundus subterraneus (Amsterdam 1678), lib. 5, cap. IV.; vgl. auch Kaudler, Discorso sul Timavo. Triest 1864.

der Reka in der Lindnerhöhle bei Trebič. Wenn also die Wasser des Timavo die der Reka wären, so würde das Gefälle der Reka auf der 22 km (Luftlinie) langen Strecke von Trebič bis zum Timavo nur 0,82 m pro Kilometer betragen (= 0,082 Proz.). Demgegenüber ist das Gefälle der Reka von ihrem Eintritt in die Mahorčičhöhle bis zur Trebičhöhle ein ungleich viel höheres: es beträgt pro Kilometer 23,6 m (= 2,36 Proz.). Und auf der 2,1 km langen Strecke in den Rekahöhlen bei St. Canzian ist das Gefälle sogar das Doppelte des durchschnittlichen Gefälles (4,76 Proz.).

Es ist unleugbar schwer zu verstehen, wie die Reka diese große Strecke von Trebič bis zum Timavo bei so geringem Gefälle zurückzulegen imstande ist.

Wenn wir dagegen die Quellen der Aurisina als Austrittsstellen der Reka annehmen, so würde das Gefälle weit größer sein. Denn diese sind von Trebič nur etwa 12 km entfernt; das Gefälle beträgt mithin etwa 1,67 m pro Kilometer. Indessen sahen wir, daß die Aurisinaquellen zu wenig Wasser führen, um als Austrittspunkte der Reka zu gelten. Nun brechen aber die Quellen der Aurisina bereits unter dem Meeresspiegel hervor, und es entzieht sich völlig unserer Kenntnis, ob nicht etwa weitere Quellströme am Boden des Meerbusens von Triest in etwas größerer Tiefe hervorbrechen, welche im Verein mit den nahe dem Ufer gelegenen, gleichfalls submarinen Quellen der Aurisina die Rekawasser dem Meere zuführen.

Schließlich ist aber noch eine dritte Möglichkeit vorhanden — nämlich, daß weder der Timavo noch die Aurisinaquellen Rekawasser enthalten, sondern daß diese letzteren an bisher unbekannter Stelle in der Nähe von Triest submarin hervorbrechen; denn von Triest aus beträgt die Entfernung nach Trebič, wo die Reka zum letztenmal beobachtet ist, nur 6 km. Der Höhlenfluß würde somit, wenn er sich hierher wenden würde, das größte Gefälle — etwa 3,33 m pro Kilometer — haben. Mit einer solchen Annahme ist die Lösung des Rätsels natürlich nicht vereinfacht. Indessen hat diese auch von E. A. Martel ausgesprochene Vermutung doch vieles für sich.

Um den Verlauf der Reka mit Sicherheit festzustellen, wurden seinerzeit im Interesse der Wasserversorgung der Stadt Triest Färbeversuche gemacht. Am 12. Juni 1891, abends $8^1/_2$ Uhr, wurden bei Ober-Urem, 6 km oberhalb von St. Canzian, 10 kg

Fluoresceïn in Natronlauge gelöst ins Wasser geschüttet [1]). Tags darauf wurden Posten an der Aurisina und am Timavo ausgestellt, welche die eventuell auftretende Färbung zu beobachten hatten. Die erwartete Färbung blieb indessen aus und der kostspielige Versuch war somit gescheitert.

Zum Glück hatte die Sektion Küstenland des Deutsch-Österreichischen Alpenvereins es sich nicht nehmen lassen, durch eigene Posten den Verlauf der Färbung auf der verhältnismäßig kurzen Strecke von Ober-Urem bis in die Grottenwelt von St. Canzian zu verfolgen. Und diese Beobachtungen sind es allein, welche wissenschaftlich von Bedeutung gewesen sind [2]), und zwar sind sie von hoher Bedeutung; denn sie haben uns bezüglich der Geschwindigkeit der Fortbewegung des Wassers merkwürdige Dinge gelehrt. Durch diese Beobachtungen wurde festgestellt, daß die Wasser der Reka, so schnell sie auch zu fließen scheinen, in Wirklichkeit doch nur sehr langsam sich fortbewegen.

In diesem größtenteils oberirdischen Verlauf hat der Fluß sich nirgends durch enge Spalten hindurchzuzwängen, so daß er durch eine höhere Reibung in seiner Geschwindigkeit gehemmt werden könnte — trotzdem aber braucht der Fluß, um eine Strecke von 6,7 km zurückzulegen, nicht weniger als 10 bis 16 Stunden! Denn um $8^1/_2$ Uhr abends wurden die Wasser bei Ober-Urem gefärbt und um $6^1/_2$ Uhr morgens — also nach zehn Stunden — trat erst eine Färbung in dem als „Rekasee“ bezeichneten Wasserbecken in der großen Doline ein; diese Färbung hielt volle sechs Stunden in gleicher Intensität an.

Trotzdem die Reka ein wild dahinschießender Gebirgsfluß ist, bedarf sie dennoch im Durchschnitt nicht weniger als zwei volle Stunden, um ihre Wasser nur einen Kilometer vorwärts zu tragen — ein Weg, den ein Fußgänger in nur 12 Minuten zurücklegt!

---

[1]) Man wollte ursprünglich 20 kg Fluoresceïn bei diesem Versuche in Anwendung bringen; die k. k. Regierung beschloß indessen, daß 10 kg für dies Experiment ausreichend seien. Mit diesen wurden die Versuche gemacht — und scheiterten!

[2]) Vgl. Friedrich Müller, Resultate der Färbung des Höhlenflusses Reka im Karste mit Fluoresceïn. Mitteil. d. Deutsch-Österreich. Alpenvereins, 1891, S. 230.

Diese große Langsamkeit in der Bewegung erklärt sich dadurch, daß die Wassermassen eines solchen Gebirgsflusses vom menschlichen Auge im allgemeinen bedeutend überschätzt werden, während umgekehrt das Flußbett bedeutend unterschätzt wird. So finden sich am unteren Ende eines jeden Wasserfalles große kesselförmige Vertiefungen — Evorsionstrichter —, in welchen das Wasser in kreisender Bewegung lange Zeit verharrt, bevor es weiterfließt. Wenn nun das gefärbte Wasser in einem solchen Kessel gerade anlangt, dann werden aus demselben erst die Wassermassen herausgetrieben, welche schon geraume Zeit darin verweilt haben. Erst wenn das gesamte noch ungefärbte Wasser durch die nachdringenden gefärbten Massen hinausgedrängt ist, erst dann verlassen ganz allmählich auch die jetzt in einem solchen Kessel befindlichen gefärbten Massen ihren Ort.

Nach dem Gesagten bedeutet somit ein jeder Wasserfall nicht eine Beschleunigung in der Fortbewegung des Wassers, sondern umgekehrt eine Verzögerung. Denn stets ist an der Basis eines Wasserfalls ein Ausstrudelungstrichter vorhanden, in welchem Gegenströmungen stattfinden, welche, mit der Stromrichtung kombiniert, zu einer Wirbelbewegung resultieren.

Auf den langen Aufenthalt des Wassers bei der Wirbelbewegung in einer Reihe von aufeinanderfolgenden Evorsionstrichtern ist es auch zurückzuführen, daß das Wasser sechs volle Stunden gefärbt vorbeifloß.

Gleiches konnte ja auch bei der Donau-Rheinverbindung festgestellt werden. Auch hier dauerte die Versalzung der Aachquelle geraume Zeit — 71 Stunden —, während bei Immendingen, an der Donauschwinde, doch nur auf einmal das Salz in den Fluß geworfen wurde! Wir hatten aus dieser Verzögerung daher ebenfalls auf das Vorhandensein von Wasserfällen geschlossen; und in der Tat: nur durch die Annahme solcher Wirbelbewegungen, wie sie bei Wasserfällen vorkommen, läßt sich diese partielle Verzögerung in der Fortbewegung des Wassers erklären.

Da wir nunmehr die geringe Fortbewegungsgeschwindigkeit der Reka an der Oberfläche kennen, müssen wir a priori den Schluß ziehen, daß im Gebirge, woselbst die Reibung in engen Spalten als großes Hemmnis der Fortbewegung entgegentritt, die Reka noch weit langsamer dahinfließt, als im offenen Flußbett. So konnte bei dem Höhlenflusse, welcher die Donau mit

dem Rhein verbindet, eine mittlere Geschwindigkeit von nur 0,2 km in der Stunde festgestellt werden.

Hätte man die dort gemachten Erfahrungen auch bei den Färbeversuchen der Reka angewandt, so würde man kaum am folgenden Tage an dem über 40 km entfernten Timavo und der über 30 km entfernten Aurisina die Färbung erwartet haben. Möglicherweise, daß sie nach etwa 8 Tagen eingetreten ist, ohne beobachtet zu sein?! Vielleicht aber war auch die angewandte Menge von 10 kg Fluoresceïn zu wenig.

Bemerkenswert ist jedenfalls, daß in der Trebičgrotte, woselbst von der Società alpina delle Giulie eine volle Woche Tag und Nacht Proben des Wassers genommen wurden, die Färbung ebenfalls nicht wahrgenommen werden konnte. Sollte man aber hieraus mit Franz Kraus den Schluß ziehen, daß das Wasser in der Lindnerhöhle bei Trebič gar nicht die Reka sei? Es scheint, als ob dieser Zweifel doch ein unberechtigter ist: denn erstens woher sollte der Fluß kommen, welcher die Trebičgrotte durchfließt? und zweitens wohin sollte denn die Reka ihren Lauf nehmen, wenn nicht dahin, wo doch ihr ganzer, dem Streichen des Gebirges paralleler Lauf nach WNW — also nach Trebič hin — gerichtet ist?

Von der Trebičhöhle ab aber fehlt jede Spur des Flusses; es bleibt ein Rätsel, wohin die Reka sich wendet! Allerdings müssen wir in diesem Falle gestehen, daß uns die Annahme der in der Einführung zu diesem Kapitel genannten Theorie Grunds hier über eine große Schwierigkeit hinweghelfen würde. Jene Theorie sagt aus, daß die in den „Flußschwinden" versinkenden Wasser nicht als Höhlenflüsse im Gebirge bleiben, sondern in Klüfte sich zerteilen und ins Grundwasser übergehen. Unter Annahme dieser Theorie wäre es leicht zu verstehen, warum die Reka so spurlos verschwindet: sie ist Grundwasser geworden! Ob aber diese Theorie — so verlockend sie in diesem Falle auch erscheinen mag — wirklich das Richtige trifft, soll später erörtert werden.

Wir haben im vorigen Abschnitte dieses Kapitels in der unterirdischen Donau-Rheinverbindung einen Höhlenfluß kennen gelernt, dessen Ein- und Ausgang wir kennen, dessen Inneres uns aber unbekannt ist.

Hier haben wir einen Höhlenfluß behandelt, dessen Eingang wir allerdings kennen, dessen Ausgang jedoch problematisch ist. Dafür aber sind uns vom Laufe der Reka beträchtliche Teile des unterirdischen Weges bekannt, in welchem sie dahinrauscht.

Nunmehr wenden wir uns einem System von Höhlenflüssen zu, von welchem sowohl Eingänge als auch Ausgänge sowie beträchtliche Teile der Tunnel bekannt sind, welche jene Wasser durcheilen: es sind die Höhlen der Flüsse Poik, Unz, Laibach, — dreier Flüsse, welche in Wirklichkeit aber nur Teile eines und desselben Flusses sind!

4. Das System von Höhlenflüssen im Zuzugsgebiet der Laibach (Poik, Zirknitzer Fluß, Unz, Laibach). Vier Meilen ostnördlich von Triest gelegen, befindet sich inmitten des Hochplateaus des Karstes eine Niederung, welche von alttertiären (eocänen) wasserführenden Gesteinen erfüllt ist. Jene Niederung wird von einem in zahlreichen Windungen sich hinziehenden Fluß durchquert; dieser Fluß führt den Namen Poik (slowenisch Piuka).

Ebenso wie die Reka bei St. Canzian, so verschwindet auch die Poik von der Oberfläche, sobald sie den eocänen Boden verläßt und die klüftigen Kalke des Karstes betritt. Nahe dem Flecken Adelsberg dringt sie in die Kalke der oberen Kreide ein. Unsere Abbildung (Fig. 5) zeigt, wie die Poik in das Felsentor bei Adelsberg eintritt.

Ehemals muß die Poik in einem höheren Niveau dahingeflossen sein als heute; denn man kann neben der jetzigen Poikschwinde noch vier andere, höher gelegene Höhlengänge unterscheiden, welche in die von uns schon so oft erwähnte Adelsberger Grotte führen — jene große Höhle, welche wir bereits als ehemaliges Flußbett der Poik kennen gelernt haben (vgl. Kap. 6, S. 35).

Jetzt aber fließt die Poik in einem anderen Höhlenbett, welches tiefer gelegen und ungleich enger ist, als das ehemalige. In den zu einer Höhle erweiterten Schichtfugen zwischen den westwärts geneigten grobklotzigen Bänken der oberen Karstkalke verschwindet die Poik, um nach langem unterirdischem Lauf an einer anderen, 10 km (in der Luftlinie gemessen) entfernten

Stelle bei Planina in einem geologisch etwas tieferen Niveau, den Kalken der unteren Kreide, aus der Planinagrotte wieder hervorzubrechen.

Die Strecke zwischen Adelsberg und Planina, welche die Poik unterirdisch durchläuft, ist seit einem halben Jahrhundert geradezu als das klassische Gebiet speläologischer Forschung anzusehen. Hier ist es dem Forschungseifer einer großen Reihe von Liebhabern gelungen, große Teile jenes Höhlenflusses zu erforschen.

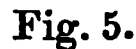


Fig. 5.



Poikschwinde bei Adelsberg.

Jene gefahrvollen Höhlenforschungen sind an die Namen von A. Schmidl, E. A. Martel, Putick u. a. geknüpft. Ihnen verdanken wir, daß wir über den unterirdischen Verlauf des Flusses eingehend orientiert sind.

Zunächst wendet sich der Fluß in seinem engen, nur zur Zeit ganz niedrigen Wasserstandes befahrbaren Bette von Adelsberg nach NNW. In der Grotte von Otok, welche nordwestlich jener von Adelsberg gelegen ist und gleich der letzteren ein Teil

des ehemaligen Flußbettes der Poik ist [1]), kann man auf einigen steil in die Tiefe führenden Abgründen die Poik wieder erreichen. Hier ist sie aber bereits durch einen kleinen Nebenfluß verstärkt, dem Černi Potok (Schwarzbach), welcher gleich der Poik beim Verlassen des eocänen Gesteines von den klüftigen Karstkalken verschluckt wird.

Es ist dem bekannten französischen Höhlenforscher, dem verstorbenen Rechtsanwalt E. A. Martel, gelungen, von hier aus den unterirdischen Fluß noch eine Strecke von 700 m unter den größten Schwierigkeiten zu befahren. Dann aber senkte sich die Decke der Flußhöhle bis auf den Wasserspiegel hinab, so daß weiteres Vordringen ausgeschlossen war. Sollte hier das Ende des Höhlenflusses sein? Sollte es hier, in engen Spalten sich verlierend, in das Grundwasser übergehen? Dies ist nicht der Fall; denn es ist den Höhlenforschern gelungen, einen kleinen und engen, trockenen Höhlengang zu ermitteln, welcher sich oberhalb des Wasserspiegels der Poik hinzieht und nach einer Strecke von etwa 200 m wieder zur Poik hinabführt.

Die Höhlenstrecke, welche der Fluß selbst durchläuft, ist nicht zu beschreiten, weil sie in ihrer gesamten Ausdehnung vom Fluß erfüllt wird. Ein solcher Teil eines Höhlenflußbettes wird als Siphon bezeichnet.

Die Siphone sind die größten Hindernisse bei der Erforschung von Höhlenflüssen, und es ist ein glücklicher Zufall, wenn es gelingt, wie hier durch Ermittelung eines seitlichen Höhlenganges, einen solchen zu überwinden und so den Fluß wieder zu erreichen.

Die Entstehung der Siphone ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Einmal können sie sich bilden, wenn Teile der Decke einer Höhle hinabstürzen. Die Trümmer verlegen dann dem Wasser den Lauf; es staut sich also das Wasser so hoch an, bis es die Schuttmassen überschreitet. Erreicht bei dieser Stauung der Wasserspiegel des Höhlenflusses die Höhlendecke, so haben wir ein unüberwindliches Hindernis in der Befahrung eines

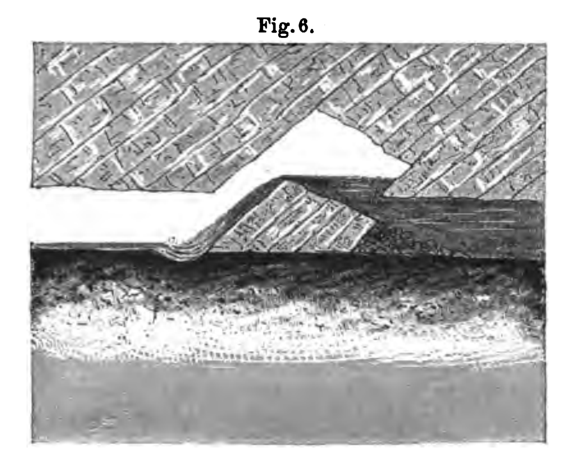
---

[1]) Jetzt ist die ehemals vorhandene Verbindung zwischen den Grottengängen von Adelsberg und Groß-Otok nicht mehr vorhanden; sie ist durch Einstürze eines Teiles der Höhle verschüttet. Oberhalb jener Stelle befindet sich eine Einsturzdoline, ein gewaltig großer Kessel von stellenweise vertikalen Felswänden eingerahmt; Stara apnenca (alter Kalkofen) wird diese Doline benannt.

Höhlenflusses. Einen solchen durch Einsturz entstandenen Siphon zeigt unsere der „Höhlenkunde“ von Franz Kraus entnommene Abbildung in schematischer Darstellung (Fig. 6).

Es ist aber nicht nötig anzunehmen, daß die Entstehung eines jeden Siphons auf partielle Einstürze des Höhlendaches zurückzuführen ist. Vielfach scheinen die Tunnel, welche die Höhlenflüsse durchlaufen, eine U-förmige Gestalt zu besitzen. In diesem Falle erfüllt das Wasser die beiden Schenkel des U-Höhlentunnels gänzlich, so daß die Höhle abgesperrt wird.

Fig. 6.



Siphonbildung durch Deckensturz.

Die Siphone sind also, wie wir sehen, große Hindernisse in der Befahrung eines Höhlenflusses; sie sind aber auch ein großes Hindernis in der Fortbewegung des Wassers selbst. Die Siphone mögen ein gut Teil zu der Verlangsamung beitragen, welche das Wasser durch die Reibung an den Wandungen des Höhlenbettes erfährt.

Viele, namentlich die durch Einstürze entstandenen, Siphone mögen auch oft Veranlassung geben, daß der Höhlenfluß durch Erweiterung anderer Spalten ein neues Bett sich sucht und schafft. So ist es nicht unwahrscheinlich, daß die zahlreichen Einstürze, welche in dem Gebiet der Grotte von Adelsberg zu beobachten sind, die Ursache gewesen sind, daß die Poik sich einen neuen Weg geschaffen hat.

Wir kehren zur Poik zurück. Nach Überwindung jenes Siphons durch einen seitlichen Höhlengang wurde die Poik wieder erreicht. Der Fluß wendet sich nunmehr — seinen bisherigen durchschnittlich nach NNW gerichteten Verlauf aufgebend — nach NO. Nach einem Lauf von 100 m Länge teilt sich der Fluß in zwei Arme, von denen der rechte, noch ungenügend erforschte Arm auf eine Länge von 200 m ostwärts zur Černa-Jama (Schwarze Grotte) sich hinzieht, während der linke nördlich gerichtete nach abermals 100 m von einem Siphon abgeschlossen wird. Aber auch dieser Siphon konnte auf einem seitlichen Höhlengang umgangen werden, so daß jenseits desselben der Fluß wieder erreicht wurde. Hier ist die Poik noch auf eine Erstreckung von 100 m Länge verfolgt worden.

Auf jenem Höhlengang, welcher es gestattete, den zuletzt genannten zweiten Siphon zu überwinden, befindet sich eine Verbindung mit der Oberfläche durch die teilweise schachtartig gestaltete Höhle, den „Magdalenenschacht".

Mit der Erforschung der Poik von Adelsberg bis zum Magdalenenschacht, welche zum großen Teil der kühnen Höhlenexpedition E. A. Martels zu danken ist, ist die Poikforschung zunächst beendet. Der linke, größere, nordwärts gerichtete Arm scheint nach Osten umzubiegen; denn in einer Entfernung von 600 m östlich jener Stelle ist der Höhlenfluß von neuem in der Poikhöhle zu beobachten.

In dieser Höhle sind beide Arme der unterirdischen Poik wieder vereinigt. Der rechte Poikarm wendet sich, wie wir sagten, gleich bei der Gabelung nach Osten, geradenwegs zur Černa-Jama hin. Die Černa-Jama besitzt einen schachtförmigen Höhlengang, auf welchem hinabsteigend man zu dem Bett des rechten Armes der Poik gelangt. Der in dieser Höhle auf eine Erstreckung von 600 m verfolgte Flußlauf macht einen großen nach Westen offenen Bogen. Der oberste Teil der Höhle ist nur etwa 300 m in der Luftlinie von jener Stelle entfernt, an welcher der rechte Arm der Poik zuletzt beobachtet wurde. Am unteren Ende der Černa-Jama verschwindet der Fluß auf nicht beschreitbarem Wege, um aber nach einer Entfernung von nur 70 m mit dem linken Poikarm vereinigt in der Poikhöhle von neuem hervorzubrechen.

Die Poikhöhle (Piuka-Jama) zeigt einen S-förmigen, im allgemeinen nordwärts gerichteten Verlauf von 700 m Länge. Gleich der Černa-Jama wird sie durch eine zur Oberfläche führende Doline erreicht. Am Ende der Poikhöhle befindet sich abermals ein Siphon, der noch nicht umgangen werden konnte.

Nun folgt eine Strecke von 2400 m Länge (in gerader Richtung), auf welcher die Poik nicht verfolgt worden ist. Dann aber beginnt die große Quellhöhle der Planinagrotte, durch welche die Poik wieder zur Oberfläche gelangt. Die Planinagrotte ist von der Austrittsstelle der Poik aus 2500 m nach aufwärts verfolgt worden.

Von Adelsberg aus ist also der unterirdische Verlauf der Poik mit nur kleinen Unterbrechungen auf eine Erstreckung von nicht weniger als 2700 m verfolgt worden. Bei 2200 m Länge gabelt sich der Fluß. Der rechte, etwa 1000 m lange, die Černa-Jama durchfließende Arm ist auf eine Erstreckung von 600 m Länge erforscht, von dem linken 1100 m langen Arm sind nur 500 m bekannt. Beide Arme sind in der Poikhöhle wieder vereinigt und auf einer Länge von weiteren 700 m verfolgt, so daß die Gesamtlänge der Poik bis zum Ende der Piuka-Jama 4000 m beträgt. Die nun folgenden 2400 m sind unerforscht. Dann aber kommt die bekannte 2500 m messende Strecke in der Planinagrotte.

Zwischen der Flußschwinde bei Adelsberg und dem Wiederaustritt bei Planina (s. Fig. 7) durchläuft also die unterirdische Poik Höhlengänge von insgesamt 8900 m Länge, von denen nicht weniger als 5900 m — also etwa zwei Drittel — bereits erforscht sind.

Damit scheint allerdings unsere Kenntnis jenes Höhlenflusses zunächst am Ende angelangt zu sein. Das liegt wohl daran, daß gerade diese letzte unerforschte Strecke von 2400 m durch keinen Höhlengang bisher erreicht werden konnte, denn nach oben und unten ist dieser Teil des Höhlenflußbettes durch Siphone abgeschlossen, welche bisher nicht überwunden worden sind. Namentlich am Ende jener unbekannten Strecke befinden sich große Einsturzmassen, welche beim Einbruch der (sogenannten!) Kleinen Kolečiuka, einer in Wirklichkeit gewaltig großen Einsturzdoline, sich gebildet haben. Jene Schuttmassen sind es

also, welche das hintere Ende der Planinahöhle von dem letzten unerforschten Teil des Höhlentunnels völlig abschließen.

Zum Teil mag der Umstand, daß die Erforschung des Flusses jetzt zum Stillstand gelangt ist, aber auch darauf zurückzuführen sein, daß sich keine Forscher mehr gefunden haben, welche der gefahrvollen und, wie manche glauben, undankbaren Arbeit Mittel und Mühen opfern wollen.

Jedenfalls ist durch die bisher gemachten Forschungen mit zweifelloser Sicherheit festgestellt wor-

Fig. 7.



Austritt der Poik aus der Planinagrotte.

den, daß die Verbindung des Ponores von Adelsberg mit der „Vauclusequelle“ von Planina nicht durch Grundwasser, sondern durch einen Fluß vermittelt wird, welcher eine Reihe von tunnelartig gestalteten Höhlenräumen durchfließt.

Die gesamte Längenerstreckung des Höhlenflusses beträgt, wie gesagt, 8900 m. Da die Flußschwinde bei Adelsberg 511 m hoch gelegen ist und die Austrittsstelle bei Planina 58 m tiefer — also 453 m hoch — sich befindet, so beträgt das Gefälle 6,52 m pro Kilometer (0,65 Proz.).

Verglichen mit dem Gefälle der bisher genannten Höhlenflüsse, ist dieses hier nur ein geringes, indessen ist es immer noch weit höher als das der Flüsse an der Erdoberfläche. Wie die Beobachtungen über den Zeitpunkt des Anschwellens der Poik bei Planina nach den oberhalb Adelsberg erfolgten Niederschlägen gelehrt haben, braucht die Poik etwa drei Tage, bis die Wasser von Adelsberg bis Planina gelangt sind. Wenn also das Gefälle der Poik auch minder bedeutend ist als das vieler anderer Höhlenflüsse, so ist doch ihr Gefälle durchschnittlich derart beschaffen, daß die Geschwindigkeit annähernd die gleiche ist wie bei anderen großen Höhlenflüssen.

Die Planinagrotte bietet in anderer Hinsicht noch ein besonderes Interesse: denn in ihr nimmt die Poik einen Nebenfluß auf, welcher von dem von Zeit zu Zeit das Kesseltal von Zirknitz erfüllenden periodischen See herkommt. Die Abflüsse des Zirknitzer Sees geschehen bei niederem Wasserstand durch ein noch großenteils unerforschtes Höhlensystem am Grunde des Seebeckens, bei hohem Wasserstand durch die Abzugshöhle der Großen und der Kleinen Karlovca. Unsere Abbildung (Fig. 8) ist nach Aufnahme des Verfassers von der Großen Karlovca bei Hochwasser hergestellt; sie zeigt, wie der See in den gewaltigen Torbogen einströmt.

Von hier fließt der „Zirknitzer Fluß“, so wollen wir ihn nennen, 900 m weit in einem bereits erforschten Höhlentunnel; dann folgen etwa 1200 m, welche noch unerforscht sind, an welche sich aber weitere 1300 m anschließen, die wiederum bekannt sind. Hier gelangt der Fluß ans Tageslicht, aber nur auf eine Erstreckung von 1800 m. Rakbach wird der Fluß hier genannt und das Kesseltal, welches er durchfließt, ist unter dem Namen „Rakbachkessel“ allgemein bekannt. Am Ende des Rakbachkessels teilt sich der Fluß in zwei Arme, von denen der eine direkt zu dem schon öfter erwähnten Unzpolje von Planina hinzieht und als Mühlbach zum Vorschein kommt, während der andere in die Grotte von Planina führt und daselbst als „Höhlennebenfluß“ in die unterirdische Poik einmündet.

Von dem Eintritt des Rakbaches (Zirknitzer Flusses) in das Gebirge ab sind 360 m erforscht, dann folgen 1500 m unbekannte Höhlenteile; von dann ab sind aber die letzten 4500 m von der Planinagrotte aus, durch Putik aufwärts fahrend, erforscht.

Somit ist von dem gesamten, 11 600 m langen, von Zirknitz herkommenden und in der Planinagrotte mit der Poik sich vereinenden Höhlenflusse 8900 m, also etwa drei Viertel seines Laufes, erforscht. Dieses große Ergebnis verdanken wir ganz besonders den kühnen Höhlenforschungen W. Putick s.

Die Quellhöhle an der Austrittsstelle des Flusses ist die größte bisher im Zusammenhang bekannte Wasserhöhle des ganzen

Fig. 8.



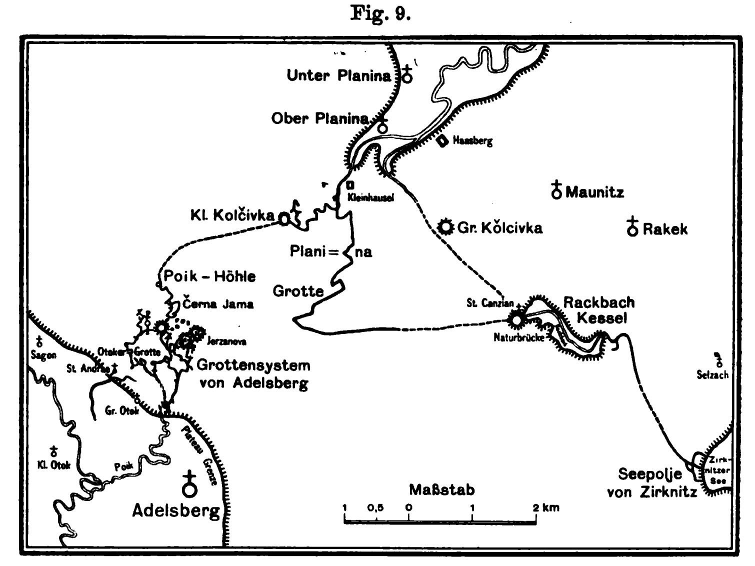
Abfluß des Zirknitzer Sees durch die Große Karlovca bei Hochwasser.

Karstes. Es liegt somit auch bei dem Zirknitzer Flusse volle Gewißheit vor, daß die Verbindung zwischen den Ponoren und dem Quellstrome von Planina ein echter Höhlenfluß ist; nirgends sind hierselbst Anzeichen dafür beobachtet worden, daß die in den Ponoren abfließenden Wasser in das Grundwasser übergehen und aus diesem wieder hervorbrechen.

Die mit dem Zirknitzer Fluß vereinten Wasser der Poik entströmen bei Planina nahe der alten Ruine Kleinhäusel[1]) dem Gebirge und treten in das Kesseltal der Unz — so heißt die Poik, nachdem sie sich noch mit dem Mühlbach vereinigt hat —, jenem Fluß, welcher vom Rakbachkessel aus direkt in das Unzpolje eindringt.

Unsere Karte (Fig. 9) stellt den verwickelten Zusammenhang des unterirdischen Wasserlaufes der Poik und des Zirknitzer Flusses dar, bis sich beide Flußsysteme zur Unz vereinigen.

Fig. 9.



Karte des Zusammenhanges der Höhlenflüsse von Adelsberg, Zirknitz und Planina.

Die Unz fließt in zahlreichen Windungen durch das Kesseltal von Planina. Der Boden des Tales besteht großenteils aus Dolomiten, welche wohl der Triasformation angehören mögen. Diese Dolomiten scheinen wegen ihres großen Lösungsrückstandes der Verkarstung ungünstig zu sein, denn sie vermögen das Wasser zu halten. Sobald aber der Fluß die Dolomite wieder verlassen hat

[1]) Die Planinagrotte wird daher auch vielfach „Kleinhäuseler Höhle“ benannt.

und die klüftigen Kalke der Kreideformation betritt, da versinken große Teile des Wassers von neuem und am Nordostrande des Kesseltales wird der Rest des Flusses vollständig von den klüftigen Karstkalken verschluckt. Pod stenani (unter den Wänden) wird jene Stelle benannt.

Was nun aus der Unz wird, ist unbekannt. Ob sie in zahlreichen Klüften sich verliert und in das Grundwasser übergeht, oder ob sie im Zusammenhang bleibend als Höhlenfluß weiterfließt — man weiß es nicht. In einer Entfernung von etwa 11 km kommen in einer Meereshöhe von 290 m — also etwa 150 m tiefer als bei „Pod stenani" — gewaltige Quellen zum Vorschein, welche jene großen Moräste bewässern, aus welchen die Laibach hervorgeht. Man hat von jeher das Wasser des Laibachmorastes und der Laibach als das Wasser der Unz angesehen — ob dies aber nur mittelbar der Fall ist, indem die Unzwasser erst in das allgemein verbreitete Grundwasser übergegangen sind, oder ob diese Verbindung direkt als Höhlenfluß zu denken ist — darüber fehlt, wie gesagt, bis jetzt noch die Gewißheit.

Aus den Verhältnissen, wie sie die Höhlenforschungen im Flußsystem der Poik-Unz gelehrt haben, ist jedenfalls erwiesen, daß in der Natur echte Höhlenflüsse vorkommen, welche die Verbindung zwischen Ponoren und Vauclusequellen herstellen. Ob aber nebenbei auch des öfteren das Grundwasser den Übergang zwischen Ponoren und Vauclusequellen vermittelt, soll bei Besprechung der neueren, namentlich von A. Grund vertretenen Theorie über die hydrographischen Verhältnisse des Karstes später erörtert werden.

Auf die hohe praktische Bedeutung dieser scheinbar doch nur wissenschaftlichen Frage für die Bewirtschaftung des Landes haben wir bereits in den einleitenden Worten zu diesem Kapitel kurz hingewiesen; später müssen wir noch einmal darauf zurückkommen.

Zehntes Kapitel.

Die Vaucluse und die Vauclusequellen.

Definition der Vauclusequellen. — Problem der Vauclusequellen. — Die Vaucluse. — Die Talbildung im Vauclusegebiet. — Quelltöpfe.

Im fünften Kapitel haben wir bereits hervorgehoben, daß die Vauclusequellen eine Eigentümlichkeit der Karstgebiete sind. Wir sind dabei der althergebrachten Auffassung gefolgt und haben diejenigen Quellen als Vauclusequellen bezeichnet, aus welchen das Wasser gleich an der Quelle als Fluß hervorbricht. Das vielfach gebrauchte Wort „Riesenquelle" ist hiernach gleichbedeutend mit der Bezeichnung Vauclusequelle.

In den vergangenen Abschnitten mußten bereits verschiedene Quellen erwähnt werden, welche nichts anderes sind, als Vauclusequellen; die Quelltöpfe der Aach, Brenz, Blau gehören zu ihnen. Sie alle verraten durch ihre bedeutende Größe, daß sie ein großes Zuzugsgebiet besitzen.

Wir haben aber die Bezeichnung Vauclusequelle auch für diejenigen Quellen angewandt, welche unzweifelhaft Orte des Wiederhervorbrechens von Flüssen sind. Der so oft schon genannte Höhlenforscher E. A. Martel hat sich zwar wiederholt gegen den allgemeinen Gebrauch gewandt, jenen von neuem hervorbrechenden Wassern eines Flusses den Namen Quelle zu geben. Prinzipiell hat er gewiß recht, denn ein Fluß kann im allgemeinen nur eine einzige Quelle oder, besser gesagt, ein einziges Quellsystem besitzen, nämlich das, welches in seinem Ursprungsgebiet liegt. Wenn nun ein Fluß in eine tunnelförmig gestaltete Höhle eintritt und dann nach einer gewissen unterirdischen Strecke von neuem hervorbricht, so ist der Ausdruck „Quelle" für den Wiederaustritt des Flusses streng genommen nicht gerechtfertigt. Indessen gibt es viele solcher Quellen — der Timavo gehört beispielsweise zu ihnen —, hinsichtlich deren Unklarheit herrscht, ob ihre Wasser innerhalb des Zuzugsgebietes der Quelle bereits

an der Oberfläche geflossen sind oder nicht. Würde z. B. der Timavo der Wiederaustritt der Reka aus dem Gebirge sein, dann wären die Timavoquellen streng genommen keine Quellen; im anderen Falle aber wäre der Timavoursprung als echte Quelle zu bezeichnen.

Über diese Unklarheit hilft uns die Bezeichnung „Vauclusequellen" hinweg, unter welchen sowohl die Wasseraustritte eines bereits an der Oberfläche gewesenen und im Gebirge versunkenen Flusses verstanden sind, wie auch die Orte des Hervorbrechens von bedeutenden Wassermassen gemeint sind, welche sich im Innern des Gebirges angesammelt haben und vereint aus jenen Riesenquellen hervorströmen.

Wenn wir — wie dies allgemein geschieht — alles aus dem Gebirge hervorbrechende Wasser als „Quellen" bezeichnen, dann müssen wir aber auch die Vauclusequellen — selbst in dem Falle, wo sie nachgewiesenermaßen Wiederaustritte von Höhlenflüssen sind — zu den echten Quellen zählen.

Genau ebenso wie wir es bei denjenigen Vauclusequellen, welche mit Ponoren versunkener Flüsse in Zusammenhang zu bringen waren, bereits getan haben, so müssen wir auch bezüglich aller Vauclusequellen ganz allgemein die folgende Frage aufwerfen:

Sind diese Quellen als Orte des Hervorbrechens von Höhlenflüssen zu deuten oder tritt in ihnen, wie es bei den Quellen im allgemeinen der Fall ist, nur das Grundwasser zutage?

Diese Frage ist deswegen schwer zu beantworten, weil die echten Vauclusequellen sich nicht durch besondere Kennzeichen von anderen wasserreichen Quellen unterscheiden. Bei den Quellen, bei welchen es zweifelhaft erscheint, ob wir sie als echte Vauclusequellen auffassen dürfen, wird man wohl immer annehmen müssen, daß — wie bei allen Quellen, so auch bei diesen — das Grundwasser sie speist.

Nur auf jene ganz besonders wasserreichen Quellen (z. B. Timavo-, Unz-, Blau-, Aachquelle u. a.) bezieht sich die Frage nach der Herkunft des Wassers der Vauclusequellen.

Die Vaucluse selbst, die Quelle, welche dieser ganzen Gruppe von Quellen den Namen gegeben hat, ist in dem nach ihr be-

nannten Departement etwa $3^1/_2$ Meilen östlich von Avignon in Südfrankreich gelegen.

Das der Vauclusequelle entströmende Wasser bildet unmittelbar beim Hervorbrechen einen ansehnlichen Fluß, dessen Wasser in einem tief in die Kalke der unteren Kreide eingeschnittenen Tale dahinfließen.

Das Tal der Sorgue — so heißt der Fluß, welcher der Vaucluse entströmt — ist unmittelbar über der Quelle von einer senkrechten mehr als 200 m hohen Felswand gleichsam wie von einer Mauer abgeschlossen: „Vallis clausa" wurde daher das Tal benannt, aus welcher Bezeichnung das Wort „Vaucluse" entstanden ist.

An der Basis jener Felswand, die das Tal nach oben so unvermittelt abschließt, befindet sich eine Höhle, aus welcher der Fluß heraustritt.

Diese Quellhöhle ist indessen unbedeutend und nur auf sehr kurze Erstreckung zu verfolgen, denn das Wasser der Vaucluse steigt in dieser Höhle vertikal von unten empor — die Vauclusequelle ist somit nichts anderes als ein „Quelltopf". Gleich der Aach und den anderen Quelltöpfen aus dem Schwäbischen Jura, so entspringt auch die Vaucluse am Boden einer trichterförmigen Einsenkung. Nur liegen die zuletzt genannten drei Quelltöpfe offen an der Oberfläche, während der Quelltopf der Vaucluse von dem Dach einer Höhle bedeckt ist.

Man hat auch bei der Vaucluse den Versuch gemacht, ebenso wie dies seinerzeit bei dem Quelltopf der Aach geschehen ist, mittels eines Tauchers in den Quellfluß hinabzugelangen; aber auch hier war der Versuch ohne Erfolg, denn die Quelle bricht aus einem langen, schräg abwärts in die Tiefe führenden Höhlengang hervor, dessen Achse um etwa 45° gegen die Horizontale geneigt ist, und die kurze Strecke von etwa 20 m, welche der Taucher bei tiefstem Stande des Wassers im Quelltopf hinabzutauchen vermochte, gab keine hinlängliche Aufklärung über die Frage nach der Herkunft der Vauclusewasser.

Die Quelle der Vaucluse ist am Rande eines verkarsteten Hochlandes gelegen, welches etwa 70 km in die Länge und etwa 20 km in die Breite sich erstreckt und im Norden von dem Kettengebirge der Montagne de Lure und dem Mont Ventoux begrenzt wird.

Die Wasser, welche von den genannten Gebirgszügen kommen, fließen oberirdisch, solange sie im Gebiete der oberen mergelführenden Neokomformation sich befinden. Sobald aber diese Wasser die rein kalkigen Gesteine des verkarsteten Hochplateaus der Vaucluse betreten, versinken sie in der Tiefe, und nur in sehr niederschlagsreichen Zeiten sind einige Flußläufe vorhanden, durch welche ein Teil des Wassers auch oberirdisch zum Abfluß gelangt. Das Gebiet ist somit noch nicht völlig verkarstet, aber der Verkarstungsprozeß ist doch so weit vorgeschritten, daß die größte Zeit des Jahres hindurch die Vertikalentwässerung die alleinige ist.

Es unterliegt nun keinem Zweifel, daß die Vauclusequelle die Austrittsstelle des gesamten Wassers ist, welches in den klüftigen Kalken des Neokomgebietes von Vaucluse verschwindet. Aber die Art, wie das versunkene Wasser unterirdisch sich zur Vaucluse hinbewegt, ist unbekannt, weil es noch an keiner Stelle jenes Gebietes gelungen ist, das Wasser in der Tiefe aufzufinden. An Versuchen, das Grundwasser des Zuzugsgebietes der Vaucluse zu erreichen, hat es nicht gefehlt. Neuerdings, in dem letzten Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts, hat E. A. Martel den Versuch gemacht, auf den zahlreichen Schlundlöchern (Dolinen), welche sich dort finden, bis in jene Tiefe hinab zu gelangen, in welcher das zur Vaucluse ziehende Wasser sich befinden müßte. Aber auch diese, mit großer Umsicht ausgeführten Untersuchungen waren ohne Erfolg. Es war nicht möglich, auch nur einen jener Naturschächte so weit zu passieren [1]).

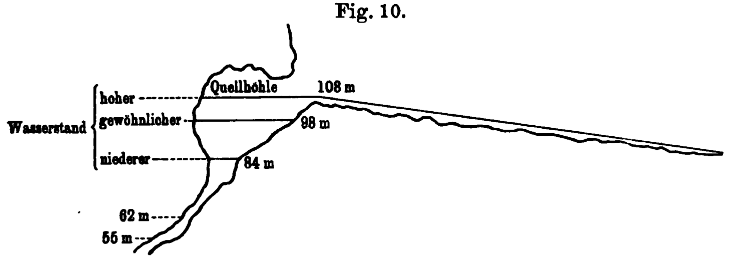
Es ist also nicht mit Bestimmtheit zu sagen, in welcher Weise das Wasser innerhalb des Gebirges zur Quelle sich hinbewegt. Wir können indessen mit **großer Wahrscheinlichkeit** annehmen, daß ein System von „Flußhöhlen“ die Wasser von dem weiten Zuzugsgebiet zur Vaucluse hinleitet. Der Beweis für diese Ansicht ist indessen nur ein indirekter: Wären keine Höhlenflüsse vorhanden, welche die Vauclusequelle speisen, dann müßte — so schließen wir — das Grundwasser in der Vaucluse zutage treten. Das Grundwasser jedoch würde alle die großen und kleinen Spalten des Gebirges erfüllen und in

---

[1]) Le mot „impossible“ devient quelquefois français! Les Abîmes, pag. 47.

diesen, dem Gesetze kommunizierender Röhren entsprechend, überall in gleicher Höhe stehen. Wäre also die Vauclusequelle ein Austrittspunkt des Grundwassers, so müßten in der Umgebung der Vaucluse im gleichen Niveau andere Quellen vorhanden sein, welche im Verein mit der Vaucluse selbst einen Quellhorizont [1]) bilden. Aus dem Fehlen eines solchen Quellhorizontes ziehen wir nun den Schluß, daß hierselbst kein allgemein verbreitetes Grundwasser vorhanden sein kann, sondern daß ein flußartiger Wasserlauf die Verbindung zwischen der Vauclusequelle und den entfernteren Teilen ihres Zuzugsgebietes herstellt. Dieser unterirdische Vauclusefluß würde dann alle die Wasseradern als Nebenhöhlenflüsse aufnehmen, welche, von dem

Fig. 10.



Profil des Quellkanals der Vaucluse nach E. A. Martel.

Randgebirge des verkarsteten Kreidegebietes herabkommend, in der Tiefe verschwinden.

Ein Umstand scheint indessen unserer Annahme, daß die Quelle der Vaucluse der Austrittspunkt eines Höhlenflusses ist, zu widersprechen: das ist das wechselnde Niveau des Wasserspiegels an der Quelle. Wie unsere, E. A. Martel entnommene Abbildung (Fig. 10) zeigt, quellen die Wasser der Vaucluse aus einem schräg aufwärts verlaufenden Höhlengang empor und münden in einem Quelltrichter. Die eine Wand dieses Trichters besteht aus lockeren Schuttmassen, infolgedessen ist sie porös, und das Wasser sickert zwischen den Hohlräumen dieses Schuttgebirges hindurch, bis es nach einer Entfernung von etwa 180 m wieder zutage tritt. Zu den Zeiten, in welchen die Quelle größere Wassermengen führt, sind indessen die Abzüge durch die

[1]) Als Quellhorizont haben wir im 5. Kap. die Schnittlinie des Grundwasserspiegels mit der Oberfläche definiert, vgl. S. 16.

poröse Trichterwand unzureichend und der Wasserspiegel steigt im Quelltrichter so lange an, bis er schließlich den oberen Rand des vor der Quellhöhle gelegenen Schuttwalles überschritten hat.

So kommt es, daß bei tiefem Wasserstande, wo der Vaucluse nur etwa 5 cbm pro Sekunde entströmen, der Wasserspiegel 84,45 m über dem Meeresspiegel gelegen ist, während er bei ausnahmsweise sehr hohem Wasserstande sich in 108,25 m Höhe — also mehr als 20 m höher — befindet [1]).

Wir haben bereits bei der Aufzählung der Karstphänomene Quellen mit wechselnder Höhenlage des Austrittspunktes kennen gelernt und haben dieses Phänomen auf die in Karstgebieten (infolge der alleinigen Vertikalentwässerung) vorhandenen hohen Grundwasserschwankungen zurückgeführt.

In dem Vauclusegebiet gibt sich aber, wie gesagt, ein solches Ansteigen des Grundwasserspiegels durch kein einziges Anzeichen kund; es muß daher die wechselnde Höhenlage des Wasserspiegels der Vaucluse anders erklärt werden. Und zwar findet dieser Umstand seine einfache Erklärung durch den verschiedenen hydrostatischen Druck, welcher in den die Quelle speisenden Wasseradern herrscht.

Haben reichliche Niederschläge im Zuzugsgebiet stattgefunden, so ist der Druck des Wassers im Gebirge ein sehr hoher und es vermag daher das Wasser in dem Quelltrichter bis zu bedeutender Höhe emporzusteigen. Wir haben in dem Wasserstrom, welcher die Vaucluse speist, nichts anderes als den aufsteigenden Schenkel eines U-förmig gestalteten Höhlenganges. Je mehr der Überdruck des im Innern des Gebirges infolge erhöhter Niederschlagsmenge sich ansammelnden Wassers anwächst, um so höher muß dann in dem Quelltrichter der Wasserspiegel der Vaucluse ansteigen. Somit liegt durchaus kein Grund vor, aus der starken Schwankung des Wasserstandes in der Quellhöhle etwa auf eine entsprechende Schwankung des Grundwasserspiegels zu schließen; vielmehr kann dieselbe Erscheinung auch bei der Annahme eines unterirdischen, von Flüssen durchlaufenen Röhrensystemes in durchaus un-

[1]) Die Wasserabgabe der Vaucluse beträgt bei diesem Niveau nicht weniger als 120 cbm pro Sekunde. Die mittlere Wasserabgabe der Quelle beträgt indessen nur 8 cbm pro Sekunde. Immerhin ist die Vaucluse eine der größten Quellen des Kontinents.

gezwungener Weise erklärt werden. Für diese Annahme spricht auch der Umstand, daß das gesamte große Zuzugsgebiet nur durch eine einzige Quelle entwässert wird, daß also zu dieser einzigen Quelle das gesamte Wasser hinströmt.

Ist aber die Vaucluse als Austritt eines Höhlenflusses anzusehen, dann müssen auch die Wiederaustritte von Flüssen, welche, wie beispielsweise die Poik im Adelsberger Karst, eine längere Strecke unterirdisch dahinfließen, als Vauclusequellen bezeichnet werden. Daß die Bezeichnung Vauclusequelle für solche Wiederaustritte von Höhlenflüssen gerechtfertigt ist, geht aus folgender Erwägung hervor: Wir denken uns beispielsweise die Höhle des unterirdisch dahinfließenden Vaucluseflusses ständig in die Breite und Höhe wachsen. Dann tritt schließlich der Zeitpunkt ein, wo die am schwächsten von der Natur gestützten Teile der Höhle zusammenbrechen. Es entstehen Einsturzsenkungen, deren Boden von Schutt bedeckt ist. Wird letzterer durch die vereinten Kräfte der in der Natur wirkenden chemischen und mechanischen Abtragung entfernt, so haben wir auf der eingestürzten Strecke einen offen an der Oberfläche fließenden Fluß, welcher indessen wieder verschwindet und in der Vaucluse von neuem zutage tritt. Durch diese Veränderungen im Oberlauf des Höhlenflusses erfährt aber, wie leicht einzusehen, der Charakter der Vaucluse in keiner Weise eine Änderung. Wir glauben somit auch berechtigt zu sein, auch die von neuem aus dem Gebirge hervorbrechenden Flüsse nach längerer oder kürzerer unterirdischer Wegstrecke als Vauclusequellen zu bezeichnen.

Die soeben angedeuteten Einsturzvorgänge haben bei der Vaucluse bereits stattgefunden. Allerdings nicht in dem unterirdischen Oberlauf, sondern an der Quelle. Denn das Tal, aus welchem so unvermittelt die Vaucluse hervorbricht, kann seine Entstehung nur dem Einsturz eines Höhlenganges verdanken. Da die Vaucluse bzw. die Sorgue, aus ihrem Höhlenbett heraustretend, mehrere 100 m unterhalb der Oberfläche des verkarsteten Zuzugsgebietes fließt, kann der Taleinschnitt, in welchem sie sich befindet, **nicht** von der Oberfläche aus durch die Erosion in das Gebirge eingenagt sein. Das jäh geschlossene Tal der Vaucluse kann daher nur durch Deckeneinbrüche einer ehemaligen Vauclusehöhle entstanden sein. Das Schuttgebirge, welches den Quelltrichter der Vaucluse nach außen begrenzt, ist

wohl ein Rest der Trümmermassen, welche bei Einbruch der Höhlenteile den Boden des einstigen Höhlenflusses bedeckten.

Der Umstand, daß die Vaucluse eine „aufsteigende" Riesenquelle ist, braucht nicht besonders betont zu werden, weil er für die Beurteilung der Vauclusequellen wohl ohne Bedeutung ist. Bei vielen Höhlenflüssen — und die Vauclusequellen betrachten wir als Austritte von solchen aus dem Gebirge — sind U-förmig gebogene und naturgemäß mit Wasser angefüllte Teile des Höhlenkanales vorhanden. Es sind Siphone, gleich denen, wie wir sie bei der Poik kennen gelernt haben. Während es aber dort gelungen ist, durch seitliche Höhlengänge einzelne Siphone [1]) zu überwinden, ist dies bei dem Siphon, welcher den Vauclusefluß abschließt, nicht möglich gewesen.

Nicht allein vom geomorphologischen Standpunkte aus, sondern auch vom speläologischen ist also die Vaucluse eine Vallis claüsa.

Wenn wir nun auch in der Vaucluse selbst den Austritt eines Höhlenflusses erblicken müssen, so könnte es natürlich dennoch Vauclusequellen geben, welche von Grundwasser gespeist werden. Aber wir müssen jedenfalls alle diejenigen Vauclusequellen, welche gleich der Vaucluse selbst emporsteigen, als Quellströme, mithin als Höhlenflüsse auffassen. Denn die Bildung eines zum Abflußrohr dienenden, aufwärts steigenden Höhlenganges kann nicht auf die Tätigkeit des Grundwassers zurückgeführt werden. Ferner müssen wir im allgemeinen diejenigen Vauclusequellen, welche aus größeren Quellhöhlen hervorströmen, als Austritte von Höhlenflüssen betrachten. Denn solche Höhlen bilden sich nur durch die Strömung des fließenden Wassers, während Grundwasser als solches bei seiner langsamen Bewegung dazu kaum imstande ist [2]).

---

[1]) Man hat den Ausdruck Siphon, „Heber", für auf- und abwärtsgewundene Höhlengänge angewendet. Die meisten Siphone haben die Form eines umgedrehten U (ᔕ); es kommen aber auch zahlreiche U-förmige Siphone, wie dieser der Vaucluse, vor.

[2]) Wir werden in einem späteren Kapitel (XIII) sehen, daß die Höhlenflüsse unter günstigen Zerklüftungsverhältnissen der Karstgesteine aus dem Grundwasser sich entwickeln. Zwischen dem Grundwasser und dem Wasser der Höhlenflüsse bestehen somit Übergänge. Sobald es aber zur Bildung einer Quellhöhle gekommen ist, muß man doch wohl von Höhlenflüssen sprechen (vgl. Kap. XIII).

Die Quelltöpfe könnte man ebensogut als austretendes Grundwasser wie auch als Höhlenflüsse betrachten. Der Quelltopf der Aach ist, wie gezeigt wurde, die Mündung eines Höhlenflusses. Bezüglich anderer Quelltöpfe herrscht Unsicherheit; man wird daher gut tun, diese Quellen — solange nicht das Gegenteil bewiesen ist — als hervortretendes Grundwasser anzusehen, denn im allgemeinen ist ja, wie bekannt, eine jede Quelle nichts anderes als hervortretendes Grundwasser.

Der Gang unserer Studien führte uns von den Höhlenflüssen unmittelbar zu den Vauclusequellen. Wir haben bei dieser Betrachtung des öfteren die Frage aufwerfen müssen, ob nicht das Grundwasser die hydrographischen Eigenheiten der Karstgebiete zum Teil wenigstens bedinge. Wir wenden uns nun der neueren Theorie A. Grunds zu, nach welcher die gesamten hydrographischen Phänomene des Karstes auf das Grundwasser zurückgeführt werden. Wir möchten diese Lehre kurzweg als die Grundwassertheorie bezeichnen.

Elftes Kapitel.

Die Grundwassertheorie zur Erklärung der hydrographischen Probleme des Karstes.

Grundwasser in Karstgebieten. — Grundwasserspiegel an der Küste. — Strömendes und stagnierendes Grundwasser. — Der Kamenitiponor. — Rückstau in den Ponoren. — Wasserstand in der Trebičhöhle. — Von Grundwasserstand unabhängige Lage der Vauclusequellen. — Karstflüsse oberhalb des Grundwassers. — Widerlegung der fünf für die Grundwassertheorie scheinbar sprechenden Argumente. — Gegenüberstellung der älteren Ansicht und der Grundwassertheorie. — Verwerfung der letzteren und Tatsache des Auftretens von Höhlenflüssen.

Schon bei Besprechung der Höhlenflüsse mußten wir des öfteren die Theorie Grunds berühren, nach welcher das Grundwasser die Verbindung zwischen Ponoren und Vauclusequellen herstellt. Der Zusammenhang zwischen beiden ist aber, wie wir gesehen

haben, in vielen Fällen ein direkter, flußartiger. Gleichwohl mag aber zuweilen auch das Grundwasser die vermittelnde Stelle einnehmen, wenngleich auch unseres Erachtens die Theorie Grunds im allgemeinen wenigstens nicht imstande ist, die hydrographischen Phänomene des Karstes zu erklären. Hier soll die Grundwassertheorie im Zusammenhange erörtert werden.

Grund geht von der wohlbegründeten, wenngleich fälschlicherweise oft bestrittenen Tatsache aus, daß auch im Karst — ebenso wie in anderen Gebieten — ein Grundwasser vorhanden sei. Man glaubte nämlich, aus dem Umstande, daß Brunnenbohrungen in Karstgebieten zumeist ergebnislos gewesen sind, den Schluß ziehen zu müssen, daß das Grundwasser überhaupt fehle. Dieser Schluß ist indessen unzulässig; vielmehr ist auch in Karstgebieten Grundwasser vorhanden — nur befindet es sich infolge der diesen Gebieten eigenen hohen Zerklüftung in sehr viel größeren Tiefen als an anderen Orten der Erde.

Das Grundwasser wird in den dem Meere benachbarten Gebieten stets bis zu der Höhe steigen, in welcher der von ihm ausgeübte hydrostatische Druck dem hydrostatischen Gegendruck des auf Spalten mit dem Grundwasser kommunizierenden Meerwassers gleichkommt. Entsprechend dem Gesetze kommunizierender Röhren würde dies, wie man erwarten sollte, der Fall sein, wenn der Grundwasserspiegel in Meereshöhe sich befindet. Infolge der Reibung an den Kluftflächen ist jedoch auf dem Lande der Grundwasserspiegel höher als der des Meeres gelegen. Wie leicht einzusehen ist, muß daher in vollendeter Gleichgewichtslage der Grundwasserspiegel eine allmählich landeinwärts ansteigende Fläche bilden [1]).

In dieser Gleichgewichtslage verharrt das Grundwasser bewegungslos, stagnierend; es wird aus diesem Zustande auch nicht durch die von der Oberfläche in die Tiefe dringenden Niederschläge gebracht, da diese Wassermassen um vieles leichter über dem stagnierenden Grundwasser in horizontaler Richtung hinwegströmend zum Abfluß gelangen können, um dann in Gestalt von Quellen längs dem Gehänge der Meeresküste oder in Depressionen hervorzutreten.

[1]) Da übrigens das Süßwasser spezifisch leichter ist als das Meerwasser, muß auch dieserhalb schon der Grundwasserspiegel etwas — wenngleich nur sehr wenig — höher liegen als der Meeresspiegel.

Diese Trennung zwischen stagnierendem und fließendem Grundwasser ist nicht allein auf Karstgebiete beschränkt; sie findet sich vielmehr in den meisten Gebieten der Erde, und zwar in Küstengebieten sowohl, als auch in Binnengebieten. In diesen ist die Trennung zwischen fließendem und stagnierendem Grundwasser durch den Umstand bedingt, daß das Grundwasser in den oberen Zonen sehr oft in Quellen zutage tritt, welche dem Wasser eine Bewegungsrichtung erteilen. Anders aber in den Zonen der Tiefe. Dort muß das Grundwasser vorherrschend stagnieren, da es nirgends als Quelle hervorkommen kann.

Wir sehen also, daß in den meisten Gebieten das Grundwasser in zwei Zonen zu zerlegen ist, eine untere Zone, welche stagniert oder nur in ganz langsamer Fortbewegung begriffen ist, und eine obere Zone, welche den Quellen die Nahrung gibt und darum in strömender Bewegung sich befindet. Nur in Gebieten mit besonders tief eingeschnittenen Tälern, also beispielsweise in Hochgebirgsgebieten, kann diese Scheidung des Grundwassers in zwei Zonen nicht immer durchgeführt werden, weil dort durch diese Teilungen sehr oft auch die Basis des Grundwassers angezapft ist, so daß die Quellen nicht allein aus der oberen, sondern auch aus der unteren Zone hervorbrechen. In diesem Falle ist somit das ganze Grundwasser in Bewegung. Wir werden daher kurzweg von strömendem und stagnierendem Grundwasser sprechen und dabei hier und da daran erinnern, daß Übergänge vorhanden sind.

Grund bedient sich für die beiden Grundwasserzonen neuer Fachausdrücke: das stagnierende Grundwasser wird von ihm kurzweg Grundwasser genannt und von dem strömenden, als „Karstwasser“ bezeichneten unterschieden. Da aber, wie erwähnt, diese Trennung nichts dem Karst eigentümliches ist, so könnte die Bezeichnung „Karstwasser“ Mißverständnisse hervorrufen und werden wir sie daher nicht benutzen.

Auf das fließende Grundwasser der Karstgebiete führt A. Grund alle die hydrographischen Eigenheiten des Karstes zurück.

Zunächst ist es das fließende Grundwasser, in welchem sich die bedeutenden Niveauunterschiede aussprechen. In unserem Kapitel „Grundwasser und Quellen in Höhlengebieten“ ist auf diese Niveauschwankungen bereits eingegangen worden. Ich habe

daselbst dargelegt, daß infolge der alleinigen Vertikalentwässerung die Niederschläge in der Höhenlage des Grundwasserspiegels beträchtliche Schwankungen hervorbringen, aber daß diese Schwankungen keineswegs so bedeutende sind, wie Grund dies annimmt, denn sämtliche Schwankungen werden in Höhlen oder Ponoren gemessen; da aber sowohl die Höhlen als auch die Ponore als Zuströmungsorte des Wassers sich gebildet haben, ist leicht zu verstehen, daß das Wasser auch weiterhin von allen Seiten in sie gleichsam wie in Töpfe einströmt. Dementsprechend gibt unter diesen Umständen der Wasserstand des in die Höhlen gedrungenen Wassers **kein** Maß für die Grundwasserschwankungen.

Nach den Beobachtungen im Kamenitiponor im Polje (Kesseltal) von Livno in Bosnien ist die Schwankung des Wasserstandes von 40 m ermittelt [1]). Aus den von Grund darüber angegebenen Tatsachen entnehme ich folgendes:

Der Kamenitiponor im Polje von Livno führt in der nassen Jahreszeit die Hochwasser zur Tiefe, in der trockenen Jahreszeit ist er jedoch außer Funktion. Diese Zeit wird, wie bei den meisten Ponoren, dazu benutzt, sie zu reinigen, damit sie bei Hochwasser sogleich als Abzugsventile in Funktion treten können. Gelegentlich der Reinigungsarbeiten erreichte man den sommerlichen Minimal-Grundwasserstand in einer Höhe von 669,24 m.

Wenn auch die so gefundene Höhe des Minimalwasserstandes wirklich einwandfrei sein mag, so gilt dies unseres Erachtens nicht von der auf 710 m angegebenen Maximalhöhe. Dies ist nämlich nicht mehr die Höhe des Grundwasserstandes, sondern das Niveau, bis zu welchem das Wasser in dem Ponorloch gestiegen ist.

Da aber bei Inundationen eine große Anzahl von kleineren Wasseradern in die Ponorhöhlen einmünden, welche ihrerseits wieder durch kleinere Ponore gespeist werden, so muß das Wasser in den Hauptponorhöhlen emporsteigen. Dies hat nun den Anschein, als ob das Grundwasser es wäre, dessen Spiegel sich hebe. Wie aber aus Fig. 11 ersichtlich, ist das Wasser kein Ponor-Grundwasser, sondern angestautes, von der Oberfläche kommendes

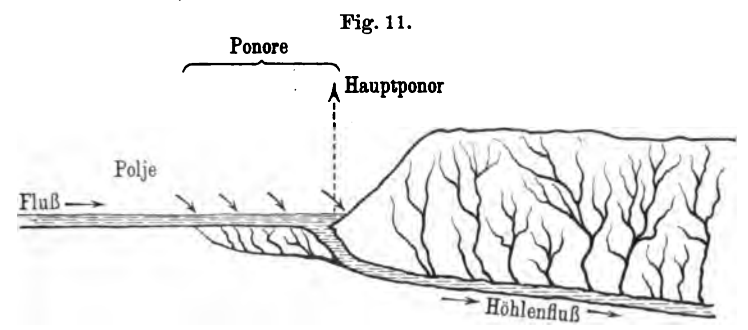
---

[1]) Grund, Karsthydrographie, S. 107 u. 108. Auf S. 175 wird noch besonders hervorgehoben, daß diese Beobachtungen im Livnopolje „die einzigen exakten Messungen der Karstwasserschwankung“ seien.

Wasser, welches nur zum Teil nach der Tiefe abfließen kann, da die dort vorhandenen Wasserkanäle bereits durch andere Zuflüsse angefüllt sind. Die Höhe, bis zu welcher das Wasser in den Ponoren zurückgestaut wird, gibt also nicht die Höhenlage des Grundwasserspiegels an, folglich ist auch die aus dieser Höhe ermittelte Schwankung des Grundwasserspiegels zwischen sommerlichem Minimum und herbstlichem bzw. frühjahrlichem Maximum falsch.

Was für die Wasserstände in den Ponorhöhlen ausgeführt ist, gilt oft in noch erhöhterem Maße von anderen Höhlen, welche nicht die Funktion von Ponoren erfüllen. Ein bekanntes Beispiel

Fig. 11.



Schematische Figur zur Erläuterung des Rückstaues, den ein Karstfluß an den Ponoren erleidet, wenn infolge der Vertikalentwässerung der Abfluß anschwillt.

hierfür findet sich in der berühmten Trebičhöhle unfern der österreichischen Südbahnstation Sessana. Die Trebičhöhle, nach ihrem Erforscher auch Lindnerhöhle genannt, ist die tiefste aller bisher bekannten Höhlen. Ihre schachtartig in die Tiefe führenden Gänge münden in 322 m Tiefe auf ein fließendes Wasser, welches, wie schon früher gesagt wurde (S. 63), als die Fortsetzung der bei St. Canzian verschwindenden Reka angesehen wird.

In dieser Höhle ist das Wasser im Oktober 1868 um den Betrag von 80 m gestiegen, ja es scheinen sogar Schwankungen von 100 m vorgekommen zu sein.

Auch in diesen enormen Schwankungen erblickt Grund [1]) das Ansteigen des Grundwasserspiegels in der nassen Jahreszeit.

---

[1]) Karsthydrographie, S. 174, Fußnote.

Jedoch gelten die von uns bezüglich des Ponorenwasserstandes erhobenen Einwände gegen diese Auffassung Grunds auch für die Trebičhöhle. Denn hier können infolge ihrer bedeutenden Tiefe von über 300 m noch weit mehr Wasser der Höhle zuströmen, als in die gewöhnlichen Ponore; ist sie doch beispielsweise achtmal tiefer als das angeführte Kamenitiponor im Polje von Livno. Die in Höhlen oder Ponoren gemessenen Wasserstände können eben kein richtiges Resultat für die Grundwasserschwankungen geben; diese müssen in Wirklichkeit weit geringer sein [1]).

Auf der (wie wir sehen unsicheren) Annahme so bedeutender Grundwasserschwankungen beruht aber die ganze Theorie Grunds. Denn von den Schwankungen des Grundwasserstandes hängen die Quellen ab. Quellen springen, wie bekannt, da hervor, wo Grundwasserspiegel und Erdoberfläche sich schneiden. Wenn aber die Quellen, wie dies meist der Fall ist, am Boden von Depressionen hervortreten, so müßte unter der Annahme so bedeutender Grundwasserschwankungen die Quelle in der trockenen Jahreszeit versiegen. Bezüglich vieler Quellen trifft dies ja auch zu, aber dennoch gibt es eine große Reihe von Quellen, und zwar sind es besonders jene Riesenquellen, welche niemals vertrocknen. Wären diese Quellen als Austrittspunkte des Grundwassers anzusehen, so müßten sie mit diesem die gleichen Schwankungen mitmachen, also im Sommer, wenn der Grundwasserspiegel in die Tiefe zurücktritt, aufhören zu fließen.

Nun könnte allerdings der Einwand erhoben werden, daß diese Quelle nicht auf der Schnittlinie des Grundwasserspiegels und der Oberfläche, sondern weit unterhalb dieser gedachten Linie liege. Die Wasser treten, so könnte man einwenden, aus be-

[1]) Da die Grundwasserschwankungen viel zu hoch von Grund angenommen sind, ist die Klüftigkeit als viel zu unbedeutend berechnet. Nach den „Berechnungen“ Grunds (über die Methode derselben vgl. S. 17) beträgt das Volumen der Spalten nur 2 bis 6 pro Tausend und dies in einem ungemein klüftigen Gestein! In einem Konglomeratgestein oder einem scheinbar ganz dichten Sandstein beträgt das Porenvolumen 20 bis 25 Proz., also das 100fache! Wenn auch die Klüfte eines Karstgesteines ein viel unbedeutenderes Volumen haben als die Poren zwischen den Einzelteilen eines polygenen Gesteines, so ist doch kaum glaublich, daß ihr Raum nur den hundertsten Teil der letzteren beträgt, zumal doch im Karst so zahlreich große Hohlräume vorhanden sind.

stimmten Quellhöhlungen hervor, weil dies die größten natürlichen Öffnungen des Bodens sind, trotzdem aber könne sich der wahre Grundwasserspiegel weit über den Quellhöhlen befinden. Wäre dem wirklich so, dann müßte an den Gehängen über der Quellhöhle, wenn auch nicht so viel, so doch etwas Wasser aus den zahlreichen Spalten hervorbrechen. Viele, wenn auch nur kleine „Gehängequellen" müßten vorhanden sein, welche durch ihre Höhenlage den jeweiligen Stand des Grundwasserspiegels anzeigen. Im allgemeinen finden sich aber solche temporären Quellen nicht mit Vauclusequellen vereint. In Hinsicht auf die Vaucluse selbst haben wir dies bereits im vergangenen Kapitel erörtert. Nach dem Gesagten kommen wir also zu dem Ergebnis: Wenn die Schwankungen des Grundwasserspiegels in Karstgebieten wirklich so bedeutende wären, wie neuerdings angenommen wird, so könnten die Vauclusequellen[1]) der Karstgebirge unmöglich als große Austrittsöffnungen des Grundwassers angesehen werden.

Die hier zu erörternde Theorie sagt aber gerade aus, daß die Vauclusequellen dem Grundwasser entströmen, während die alte — auch von uns vertretene — Ansicht dahin ging, daß sie Orte des Hervorbrechens von Höhlenflüssen seien. Da aber diese Theorie das Vorhandensein der Höhlenflüsse leugnet, wohl aber auf der Annahme großer Niveauschwankungen des Grundwassers bestehen muß, so liegt darin schon ein bedeutender Widerspruch.

Da ferner in den Karstgebieten die Quellen stets das Hervortreten von Grundwasser anzeigen sollen, müssen auch die von ihnen ausgehenden — also noch tiefer liegenden — Flüsse erst recht im Bereich des Grundwassers sich bewegen. Flußwasser und Grundwasser wäre demnach in den Karstgebieten untrennbar.

Nun gibt es aber Karstflüsse, welche erwiesenermaßen **über** dem Grundwasserniveau dahinfließen. So bewegt sich die bei St. Canzian verschwindende Reka auf der langen, 8 km betragenden Strecke von Ober-Urem bis zum hintersten Ende der Rekahöhlen **oberhalb des Grundwassers.** Das zeigt sich

---

[1]) Unter „Vauclusequellen" ist auch hier der allgemeine Begriff einer Riesenquelle verstanden, nicht aber die von Grund vorgeschlagene Definition; nach dieser werden alle perennierenden Quellen des Karstes. ob groß, ob klein, als Vauclusequellen bezeichnet.

dadurch, daß der Fluß bei Urem bereits beträchtliche Wassermengen verliert, welche, in die Tiefe rieselnd, sehr wahrscheinlich wohl dem Grundwasser zuströmen [1]). Die Ponorröhren von Ober-Urem sind nur (noch!) zu eng, um das gesamte Wasser der Reka aufzunehmen — folglich fließt die Reka weiter, aber jedenfalls über dem Grundwasser, mithin auch gänzlich unabhängig von demselben. An ihrem Ende, in dem hintersten Teile der Rekahöhle, geht die Reka nach der Auffassung von A. Grund in das Grundwasser über. Ob dies aber auch dort wirklich der Fall ist, oder ob nicht etwa ein einfacher Siphon vorliegt, hinter welchem die Flußhöhle ihren Fortgang nimmt, das ist noch unentschieden.

Jedenfalls ist in Betracht zu ziehen, daß es der Höhlenforschung schon oft — wie wir bei der Beschreibung des Grottensystems von Adelsberg sahen — gelungen ist, in Zeiten ganz besonderer Trockenheit Siphone zu überwinden oder solche durch Umwege auf engen Klüften zu umgehen. Stets hat man dabei jenseits eines Siphon das Höhlenflußbett wieder aufgefunden. Nun wird aber von A. Grund das Vorhandensein größerer unterirdischer Flüsse aus verschiedenen Gründen bestritten. Die Argumente, deren sich Grund hierbei bedient, sind kurz folgende:

Erstens habe man stets gefunden, daß die Höhlensysteme, in welche die Flüsse eintreten, stets blind enden und in ein System von Spalten übergehen. Daß dies vielfach nicht der Fall ist, haben wir bereits gesehen; es wird auch wiederholt auf diesen Umstand zurückzukommen sein.

Zweitens seien Versuche, durch Triftgegenstände das Vorhandensein von Höhlenflüssen nachzuweisen, stets gescheitert; die Erklärung dafür haben wir bereits gegeben (vgl. S. 54).

Drittens seien Färbeversuche fast immer ohne Erfolg gewesen. Bei einer eingehenderen Durcharbeitung der diesbezüglichen Literatur wird man aber erkennen, daß doch in einer größeren Reihe von Fällen planmäßig angestellte Versuche das erwartete Ergebnis hatten.

Viertens endlich seien nach der Ansicht Grunds Höhlenflüsse schon deswegen undenkbar, weil nur kohlensäureführendes

[1]) Dieser Wasserverlust der Reka findet zu jeder Jahreszeit statt. Mithin fließt die Reka auch zur Zeit des hohen Grundwasserstandes über diesem.

Wasser durch Auflösung des Gesteins höhlenbildend wirken kann. Nun verliert aber das in Ponore eingedrungene Wasser sehr schnell seinen Gehalt an Kohlensäure und würde somit aufhören, höhlenbildend zu wirken.

Dies wäre richtig, wenn kohlensäurefreies Wasser nicht auch die Karstgesteine auflösen würde — eine Tatsache, welche meist völlig außer acht gelassen wurde. Außerdem wissen wir (vgl. Kap. V über Korrosion), daß ein großer Teil der Gesteinsquantität, welche reichlich Kohlensäure führendes Wasser mehr aufzulösen imstande ist, als kohlensäurearmes, noch in der Höhle selbst als Kalksinter zur Abscheidung gelangt. Bei diesem Vorgange wird, wie wir gesehen haben, stets Kohlensäure frei [1]). Mit diesem Kohlensäuregehalt der im Inneren des Gebirges vorhandenen Luft kann sich das unterirdische Wasser immer wieder beladen, so daß also die chemische Kraft des Wassers keineswegs in der Tiefe eingeschränkt wird.

Dieser letztere Umstand ist unseres Wissens bisher noch niemals berücksichtigt worden, und doch läßt sich nur auf diese Weise die Existenz der großen Quellhöhlen, wie beispielsweise die 4 km lange Planinagrotte im Krainer Karst eine solche ist, erklären.

Als ein weiteres, fünftes Argument für seine Theorie führt Grund an, daß die Hochwasser gegenüber den Niederschlägen beträchtlich verspätet erscheinen. Da nach einem jeden Niederschlage in den Karstgebieten es sozusagen in den Klüften weiterregnet, sprechen sich die Niederschläge, wie schon ausführlich erörtert wurde, in der Höhenlage des Grundwasserspiegels aus. In den Karstgebieten Österreichs ist nun ein sommerliches Minimum und ein herbstliches Maximum der Niederschläge — also auch des Grundwasserstandes — vorhanden. Hinsichtlich des Grundwasserstandes kommt aber noch ein zweites Minimum im Winter hinzu, weil ein großer Teil der Niederschläge jener Jahreszeit in festem Zustande als Schnee niederfällt und als solcher an der Oberfläche liegen bleibt. Im Frühjahr aber, wo

[1]) Die Formel, welche diesen chemischen Vorgang zum Ausdruck bringt, haben wir auf S. 23 bereits erläutert. Die Formel lautete:

$$\underbrace{[CO_3]_2H_2Ca}_{\text{Doppeltkohlensaurer Kalk}} = \underbrace{CO_3Ca}_{\text{Kohlensaurer Kalk}} + \underbrace{H_2O}_{\text{Wasser}} + \underbrace{CO_2}_{\text{Kohlensäure}}.$$

neben den ohnedies reichlicheren Niederschlägen noch das Wasser der Schneeschmelze — also ein großer Teil der Niederschlagsmenge der Wintermonate — hinzukommt, muß sich im Grundwasser ein zweites Maximum aussprechen. Die Wasserstandskurve des Grundwassers in jenen Gegenden weist also zwei Minima im Sommer und Winter und zwei Maxima im Frühjahr und Herbst auf.

Nun wurde von Grund der wichtige Nachweis geliefert, daß im bosnischen Karstgebiete die Maxima der Wasserstände um eine beträchtliche Zeit und zwar um 2 bis 4 Wochen verzögert sind. Da zu dieser Zeit die zahlreichen Kesseltäler des Karstes ganz oder teilweise unter Wasser stehen, können die Zeiten der Maxima des Wasserstandes genau beobachtet werden. Und wenn die Zeit ihres Eintretens wirklich um den Betrag von $^1/_2$ bis 1 Monat gegenüber den Maxima der Niederschläge verzögert ist, so ist das eine Tatsache, an welcher nicht gezweifelt werden kann. Von dieser ausgehend sagt Grund folgendes[1]):

„Die lange Verspätung der Karstwasserstände" (Grundwasserstände), so sagt Grund, „ist jedenfalls der beste Beweis dagegen, daß die Inundationen nicht einfach Flußüberschwemmungen mit unzureichendem Abfluß — denn ein solches Hochwasser fließt doch in einigen Tagen, höchstens einer Woche ab —, sondern Grundwasserschwankungen sind, denn auch auf der übrigen Erde ist der langsame, verspätete Rhythmus der Grundwasserschwankungen längst bekannt."

Das letztere ist allerdings richtig; aber die gesamte Beweiskraft dieses Satzes beruht doch auf der Annahme, daß Flußüberschwemmungen „doch in einigen Tagen, höchstens einer Woche" abgelaufen sein müßten.

Diese Annahme ist aber, wie wir sofort sehen werden, durchaus ungerechtfertigt. Denn da durch die wenigen Ponore das gesamte Hochwasser der Kesseltäler zum Abfluß gelangen muß, wird stets bei hohem Wasserandrang ein Rückstau — also eine Überschwemmung — eintreten. Wenn nun der Abfluß auf Flußhöhlen vor sich geht, welche ihrerseits wieder durch bedeutende Wasserzuflüsse von oben her bereits stark angefüllt sind, so wird

[1]) Wir glauben deswegen dies wörtlich zitieren zu müssen, weil in diesen Worten gerade das wesentliche der Lehre besonders prägnant hervortritt.

die Verzögerung des Abflusses der in den Kesseltälern zurückgestauten Wassermassen abermals vergrößert.

Aber selbst ohne diese, die Geschwindigkeit des Wassers verzögernden Umstände ist es sehr wohl denkbar, daß das Wasser eine längere Zeit zur Vorwärtsbewegung in den engen Spalten der Höhlenflußbetten braucht, als Grund dies annimmt. Es ist bei der durch Färbeversuche ermittelten geringen Geschwindigkeit des Wassers durchaus nicht erforderlich, daß die Wassermassen, wenn sie Flüssen entstammen würden, in einigen Tagen oder „höchstens“ einer Woche abfließen müßten. Dieser „beste Beweis“ dafür, daß die Poljenüberschwemmungen nur durch Hervortreten von Grundwasser zu erklären seien, ist somit nicht stichhaltig.

Wir haben den geistvollen Versuch, die merkwürdigen hydrographischen Phänomene des Karstes mit Umgehung des Höhlenphänomens allein auf die Eigentümlichkeiten des Grundwassers der verkarsteten Gebiete zurückzuführen, seiner Bedeutung entsprechend, eingehend erörtern müssen. Dabei sind wir zu dem Ergebnis gekommen, daß, genau betrachtet, jedes der Grundschen Argumente sich auch in anderer Weise erklären läßt.

Nichtsdestoweniger kann diese Theorie zur Erklärung der hydrographischen Probleme des Karstes in vielen Fällen sich dennoch mit der Wirklichkeit decken. Nur muß die von Grund angenommene Allgemeingültigkeit derselben für alle Karstgebiete auf das heftigste angezweifelt werden.

Grunds Theorie sucht alles durch das Grundwasser und dessen angeblich ungeheure Schwankungen zu erklären. Die früher allgemein angenommene Theorie ließ das Grundwasser in Karstgebieten überhaupt außer Spiel und erklärte alle hydrographischen Probleme durch das ungemein reich ausgebildete Höhlenphänomen, welches unterirdischen Wasserläufen die Flußbetten liefert.

Daß diese Höhlenflüsse zuweilen mit Grundwasser in Berührung kommen konnten, ist niemals bestritten worden, aber daß sie selbst dem Grundwasser angehören, daß sie somit gar keine Flüsse seien, das ist das Neue der Grundschen Hypothese.

Nun haben wir, auf eine Reihe von Tatsachen gestützt, die Theorie Grunds in ihrer Allgemeingültigkeit bestritten und gezeigt, daß erstens die angeblich so hohen Grundwasserschwankungen nicht vorhanden sind, und zweitens echte unterir-

dische Flüsse vorkommen, hinsichtlich welcher alle Gegenargumente Grunds als unstichhaltig zu verwerfen sind.

Was die Höhlenforschung bisher ermittelt hat, spricht alles gegen diese neuere Theorie. Aber die Studien, auf Grund deren sie aufgestellt wurde, beziehen sich lediglich auf den bosnischen Karst. Höhlen sind zwar dort ebenso vorhanden wie im Krainer Karst, aber dem Höhlenphänomen ist nicht in gleicher Weise nachgeforscht worden. Möglich ist allerdings auch, daß das Höhlenphänomen in Bosnien nicht in gleichem Maße ausgebildet ist als in Krain. Sei es nun, daß es gleichsam senil ist, d. h. daß es durch Einstürze und Einschwemmungen seine hydrographische Bedeutung eingebüßt hat, sei es, daß das Höhlenphänomen erst im Entstehen begriffen (also juvenil) ist — jedenfalls scheinen die gesamten Beobachtungen Grunds darauf hinzuweisen, daß dort die Bedeutung der Höhlen für die Hydrographie des Landes nur gering ist. Anderenfalls würde in einer auf Studien in Bosnien begründeten „Karsthydrographie" des Höhlenphänomens mehr gedacht sein. Alle in echten Karstgebieten gemachten Beobachtungen weisen darauf hin, daß dem Höhlenphänomen in der Frage nach der Lösung der schwierigen hydrographischen Probleme des Karstes der erste Platz eingeräumt werden muß. Die im bosnischen Karst gemachten Beobachtungen dürfen somit nicht auf Karstgebiete übertragen und als „Karsthydrographie" verallgemeinert werden, wenn auch, wie die Studien Grunds beweisen, daselbst hochinteressante andere Phänomene auftreten, welche wir jedoch nicht als echte Karstphänomene bezeichnen können. Denn in den echten Karstgebieten, dem Karst „par excellence", gibt es tatsächlich Höhlenflüsse, welche alle Eigenschaften anderer Flüsse teilen, nur daß sich über ihnen die Talwände zusammenschließen und daß ihr Bett sehr viel enger ist und zuweilen von großen Hindernissen gestaut wird.

Die unterirdischen Flüsse sind es auch, welche andere Phänomene hervorbringen, welche die Grundwassertheorie nicht imstande ist zu erklären. Das erste derselben ist die Existenz submariner Vauclusequellen, das zweite die sogenannten Meeresschwinden.

Zwölftes Kapitel.

Submarine Quellen und Meerschwinden als Beweise für das Vorhandensein von Höhlenflüssen.

1. Submarine Quellen. — Deutung derselben als Höhlenflüsse. — Erklärungsversuche durch Grundwasser. — Geologische Bedeutung der submarinen Quellen. — 2. Meeresschwinden. — Meermühlen von Argostoli. — Meeresschwinden von Abbazia. — Erklärungsversuche, Mousson, Fouqué, Wiebel. — Entstehungsgang der Meeresschwinden. — Meeresschwinde von Cette. — Inversion der Meeresschwinden. — Brackwasserquellen. — Bedeutung der Meeresschwinden für die Höhlenkunde.

---

1. Submarine Quellen. Ein Phänomen, welches längs der Küsten vieler Karstländer sehr häufig zu beobachten ist, sind die Süßwasserquellen, welche unterhalb des Meeresspiegels hervorbrechen.

Man hat sie von jeher als Ausflüsse unterirdischer Wasserläufe gedeutet, deren Strömung kräftig genug ist, um den hydrostatischen Gegendruck des vor der Quellöffnung befindlichen Meerwassers zu überwinden. Die unterseeisch einmündenden Bäche hatten somit gar nichts Eigentümliches und Merkwürdiges an sich; war man doch längst mit dem eigenartigen Phänomen der unterirdischen Flüsse in Karstgebieten vertraut! Man glaubte in den Vauclusequellen des Karstes bereits zahlreiche Orte des Hervorbrechens von Höhlenflüssen zu kennen. Daher erschienen auch zufällig submarin hervortretende Höhlenflüsse durchaus nicht bemerkenswert.

Neuerdings wird aber die Existenz der Höhlenflüsse bestritten und bezüglich aller Quellen des Karstes — auch der Riesenquellen — angenommen, daß sie dem Grundwasser entströmen [1]. Wenn dies wirklich zuträfe, so wäre man gezwungen, auch die sub-

---

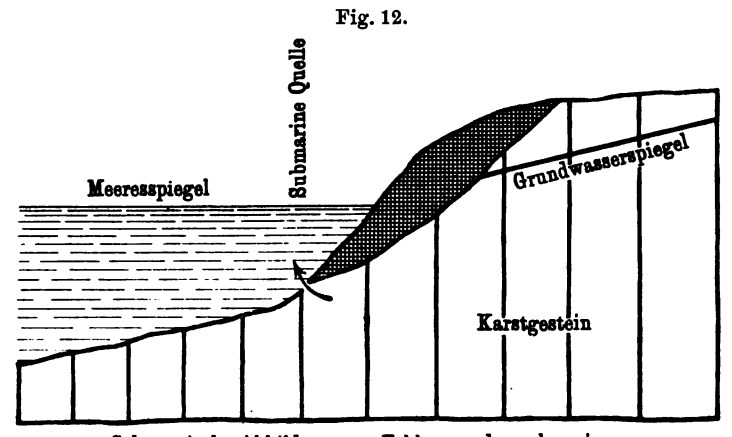
[1] Der Ansicht Grunds haben sich auch andere Forscher angeschlossen; unter ihnen A. Penck. Vgl. A. Penck, Über das Karstphänomen. Wien 1904. Vorträge d. Ver. z. Verbreitung naturwiss. Kenntnisse, Heft I.

marinen Süßwasserquellen nicht etwa als unterseeisch einmündende Höhlenflüsse, sondern als hervortretendes Grundwasser anzusehen.

Gesetzt den Fall, daß diese Quellen wirklich dem Grundwasser entströmen würden, so müßte es nach dem im vorigen Kapitel Gesagten das angeblich „stagnierende“ Grundwasser sein, welches hervortritt und sich also an jenen Orten nicht, wie man erwarten sollte, in Stagnation befindet.

Die Grenze zwischen stagnierendem und fließendem Grundwasser müßte also — falls von Grundwasser hier überhaupt ge-

Fig. 12.



Schematische Abbildung zur Erklärung des submarinen Ausflusses von Grundwasser

wasserundurchlässiges Gestein

redet werden darf — unterhalb des Meeresspiegels sein; ein Umstand, der höchst rätselhaft wäre.

Allerdings könnte durch lokale Verhältnisse dies wohl erklärt werden. Gesetzt, daß die Meeresküste nicht von Karstgesteinen gebildet werde, sondern von einer Zone wasserundurchlässiger Gesteine, welche nahe der Meeresoberfläche sich zwischen Meer und Karst schöbe, in der Tiefe aber sich verlöre, wie dies vorstehendes Profil (Fig. 12) andeutet, dann könnten submarin einmündende Grundwasserquellen zu verstehen sein.

Denn der ständig anwachsende Druck des auf der Landseite steigenden Grundwassers würde es dann vermögen, den hydro-

statischen Gegendruck des Meerwassers zu überwinden, welches mit dem Karst unterhalb der wasserundurchlässigen Gesteinszone in Berührung tritt. Infolgedessen könnte das Grundwasser trotz des darüber lastenden Meerwassers in der Tiefe als Quelle hervorströmen.

Solche Fälle mögen wohl vorkommen, aber sie sind doch rein lokaler Natur und sicher nicht häufig genug, um die große Verbreitung des Phänomens submarin einmündender, angeblich dem Grundwasser entstammender Quellen an den Karstküsten zu erklären.

Da nämlich das Karstgebirge von unzähligen Spalten durchsetzt wird, aus welchen das Grundwasser oberhalb des Meeresspiegels leicht hervorbrechen kann, ist es, wie gesagt, durchaus unerklärlich, warum es dennoch submarin austritt.

Auch Grund vermag es nicht, hierfür eine befriedigende Erklärung zu geben; vielmehr äußert sich jener Forscher folgendermaßen [1]:

„Das Abflußniveau des Karstwassers (fließenden Grundwassers) stellt der Meeresspiegel dar. Da nun aber das Karstwasser eine Mächtigkeit hat, so tritt es auch in größerer Höhe über dem Meere zutage. Andererseits ist der hydrostatische Druck des Karstwassers imstande, bis zu gewisser Tiefe den hydrostatischen Gegendruck des Meeres zu überwinden, so daß auch ein unterseeisches Abfließen des Karstwassers zu beobachten ist. Die Oberfläche des stagnierenden Grundwassers fällt daher auch am Meeresstrande nicht mit dem Meeresspiegel zusammen." (Karsthydrographie, S. 174.)

Warum aber das fließende Grundwasser den schwierigen submarinen Weg so oft wählt, wo es doch an der Oberfläche um vieles leichter hervorbrechen könnte, diese Frage wird von Grund gar nicht erörtert; auch ist seine Theorie nicht imstande, sie zu beantworten.

Dabei handelt es sich durchaus nicht etwa um ein unwichtiges Phänomen, sondern im Gegenteil um ein sehr häufiges. So sind beispielsweise an der istrischen Küste viele hunderte submariner Quellen zu beobachten. Bei Ika und bei Iccici an der

[1] Wir zitieren diese Stelle wörtlich, weil sie am besten die Unsicherheit zeigt.

Ostküste Istriens kommen sie zu Dutzenden geschart vor. Sollten da überall so komplizierte Verhältnisse bezüglich der Lagerung der Gesteine vorliegen? — Nichts ist hierüber bekannt.

Demgegenüber vermag man die Existenz submariner Quellen viel einfacher und ungezwungener durch die Annahme von Höhlenflüssen zu erklären, welche ein hinreichend großes Gefälle besitzen, um den Gegendruck des Meeres zu überwinden. Durch die Zurückführung der submarinen Quellen auf Höhlenflüsse ist auch die große Häufigkeit dieses Phänomens in den höhlenartigen Karstgesteinen und das Fehlen derselben an anderen Küsten verständlich.

Wenn nun Höhlenflüsse an den Karstküsten, nach der großen Zahl der submarinen Quellen zu urteilen, häufige Erscheinungen sind, so kann man wohl mit Recht den Schluß ziehen, daß auch in verkarstetem Binnenlande Höhlenflüsse keineswegs selten sind. Die früher ganz allgemein angenommene Ansicht, daß es Flüsse seien, welche in Ponoren verschwinden und in Vauclusequellen wieder zutage treten, diese alte Meinung findet hierdurch eine erneute Bestätigung.

Ebenso wie auf dem Lande bedeutende Quellen — Vauclusequellen — zuweilen vorkommen, so finden sich auch solche unterhalb des Meeresspiegels an der Küste. Zu diesen submarinen Vauclusequellen gehören beispielsweise die Quellen der Aurisina bei Triest, welche bis zu 20 000 cbm Wasser pro Tag liefern.

Denken wir uns den Meeresspiegel der Adria noch um wenige Meter anschwellen, so würde auch der Timavo nicht mehr als oberirdische Vauclusequelle dem Karst entströmen, sondern eine Reihe von submarinen Quellen — drei gewaltig große und viele kleinere — würden an seiner Stelle hervorsprudeln: es sind die jetzigen Arme des rätselhaften Höhlenflusses.

Hierbei kommen wir zu der wichtigen Frage, wie submarin einmündende Wasserhöhlen überhaupt entstehen können, wo doch das Wasser des Karstes, wie bekannt, infolge der hohen Klüftigkeit sich leicht einen Höhlenweg graben kann, dessen Mündung höher gelegen ist als der Meeresspiegel, so daß er den Druck des Meerwassers nicht zu überwinden braucht.

Dies ist nur durch ein anderes geologisches Ereignis zu erklären, nämlich durch eine Strandverschiebung, infolge deren die Öffnung einer bereits vorhandenen Wasserhöhle

unter den Meeresspiegel gekommen ist. **Submarine Quellen sind die Anzeichen einer positiven Strandverschiebung**[1].

Bezüglich der istrischen Küste scheint dies auch durch eine Reihe anderer Umstände bewiesen zu sein[2]. **Aber selbst wenn**

---

[1]) Man unterscheidet zwischen positiven und negativen Strandverschiebungen. Positive Bewegungen äußern sich durch das Steigen des Meeresspiegels bzw. Sinken des Landes; umgekehrt bezeichnen negative Strandverschiebungen solche Bewegungen, zufolge deren der Meeresspiegel sinkt oder das Land sich hebt.

[2]) Über Strandverschiebungen an jenem Teile der Adria liegen eine Fülle von Beobachtungen vor. Dr. Vincenz Hilber hat sie einer kritischen Betrachtung unterzogen. V. Hilber: Geologische Küstenforschungen zwischen Grado und Pola am Adriatischen Meere, nebst Mitteilungen über ufernahe Baureste (Sitzungsberichte der math.-naturw. Klasse d. k. k. Akademie der Wissenschaften **118**, Abt. I). Hilber gelangt zwar auf Grund seiner 24tägigen Studien zu der schon von Suess ausgesprochenen Ansicht, daß Schwankungen des Meeresspiegels der Adria nicht allgemein nachweisbar seien, sondern höchstens ganz lokaler Natur sind. Indessen ist, wie Hilber selbst angibt, die Ansicht einer positiven Küstenverschiebung auf eine Reihe von nicht weniger als 27 Gründen fundiert, von denen im einzelnen zwar wohl nur wenige einwandfrei sind, deren Gesamtheit aber dennoch eine positive Strandverschiebung zu beweisen scheint. Ich lasse die Gründe hier folgen, weil sie den aus der Existenz submariner Quellen gezogenen Schluß auf eine positive Strandverschiebung bestätigen; folgende Erscheinungen sind es, welche auf ein Steigen des Meeresspiegels vielfach zurückgeführt werden (Hilber, S. 278, 279):

1. Die Küstengestalt (Einschnitte [auch Fjorde], Inseln).
2. Verwandlungen von Halbinseln in Inseln (Trau in Dalmatien, Sta. Maura im Ionischen Meere).
3. „Versunkene“ Inseln.
4. Weitere Ausdehnung des Landes zur Römerzeit.
5. Erweiterung eines Meerbusens (Busen von Korinth).
6. Versumpfung.
7. Vertiefung eines Flusses (Reczina bei Fiume).
8. Eindringen des Meerwassers in eine Flußmündung (Narenta).
9. Verminderung eines Flußgefälles (Timavo).
10. Versalzung eines Süßwassersees (Vranasee).
11. Stauung eines Wasserausführungsganges durch die Flut (Triest).
12. Alljährig notwendige Erhöhung der Plätze, über welche das Wasser in die Zisternen läuft (Venedig).
13. Annäherung des Meeres an die Häuser (Triest, Pola).
14. Verstärkung der Überschwemmungen durch das Meer (Triest, Piazza grande; Venedig, Markusplatz).

dies nicht der Fall wäre, so könnte man allein schon aus dem Vorhandensein unterseeisch einmündender Wasserläufe auf eine positive Strandverschiebung schließen.

So liefert die Höhlenkunde zuweilen wertvolle Beiträge zur Geschichte der jüngeren Krustenbewegungen unserer Erde.

Wir kommen also zu dem Ergebnis: Durch die Existenz submarin einmündender Quellen wird das Vorhanden-

---

15. Lage unterirdisch angelegter Räume in der jetzigen Höhe des Meeresspiegels (Lissa).
16. Gebäudereste, namentlich Mosaikböden unter dem Meeresspiegel.
17. Reste von Böden in einem tieferen Niveau, als für die Anlage wahrscheinlich.
18. Eine steinerne Treppe unter dem Meeresspiegel (Venedig).
19. Untermeerische Reste alter Häfen, besonders Molos.
20. „Versunkene" Pfähle (Fiume).
21. Überschwemmung eines römischen Begräbnisplatzes durch die Flut (Zara).
22. Vorkommen von römischen Aschen- und Weinkrügen, Sarkophagen (zum Teil „anscheinend wenigstens noch immer auf ihrem ursprünglichen Standorte" [Spalato]), Lampen, Salbenbüchsen, einem Marmorcippus im Meere.
23. Unterseeische Lage eines in den anstoßenden Fels gehauenen Kreuzes (Porto Rè).
24. Meerbespülte Inschrift (Xivogoschie, jedenfalls das Živogošče der Küstenkarte, südöstl. von Makarska).
25. In höheren Niveaus wiederholte Pflasterungen.
26. Aufgegebene Städteanlagen neben neuen.
27. Auftreten der Malaria an Stellen wahrscheinlich fieberfreier römischer Ansiedlungen.

Das verbreitete Phänomen der submarinen Quellen würde als das 28. Argument diese Reihe beschließen. Unseres Erachtens ist es auch als völlig einwandfrei anzusehen, was übrigens nur von den wenigsten der übrigen Argumente gilt.

Vielfach mag die positive Strandverschiebung ja nur eine scheinbare sein, indem sie auf einem Zusammensinken des lockeren Schwemmlandes am Ufer, oder auf einem durch Abrasion bedingten Rücktritt des Uferrandes beruht. Aber andere Tatsachen namentlich an Karstküsten lassen sich nicht durch eine positive Progression des Meeres in horizontaler Richtung, sondern nur durch eine solche in vertikaler Richtung erklären. Dazu gehört eben ganz besonders das häufige Phänomen submariner Quellen in jenen Gebieten.

Übrigens erwähnt beiläufig auch A. Penck bezüglich des Austrittes der bei St. Canzian verschwindenden Reka, daß er infolge Senkung des Küstenlandes unter den Meeresspiegel gekommen sei, ohne indessen diese Annahme näher zu begründen.

sein von Höhlenflüssen bewiesen. Aus der Häufigkeit unterseeischer Quellen folgt daher, daß das Phänomen unterirdischer Flüsse im Karst sehr verbreitet ist.

Noch deutlicher als die submarinen Quellen spricht ein anderes Phänomen für die Existenz von Höhlenflüssen: das sind die Meeresschwinden.

2. Meeresschwinden. Ein äußerst seltsames Karstphänomen, welches indessen nur wenig bekannt ist, da es in den wenigsten geologischen und geographischen Lehrbüchern erwähnt wird, sind die **Meeresschwinden.** Das Meerwasser strömt an diesen Orten in gleicher Weise, wie das Süßwasser der Flußschwinden (Ponore) in Klüfte und Höhlungen des Karstes.

Die am meisten bekannte Meeresschwinde findet sich auf der ionischen Insel Kephalonia nahe der Stadt Argostoli. Hier strömt an zwei Orten das Meerwasser mit großer Heftigkeit in scheinbar unbedeutende Öffnungen zwischen den Karstfelsen; auf etwa 150 000 cbm wird die Wassermasse angegeben, welche alltäglich daselbst verschwindet. Dabei ist die Strömung bedeutend genug, um zwei Mühlen zu treiben, deren Räder in künstlich geschaffene Höhlungen eingelassen sind. Man hat sie die Meermühlen von Argostoli genannt. Diese Meeresschwinden bilden eine Hauptsehenswürdigkeit des Ortes.

Das gleiche Phänomen beobachtet man auch am Südstrande von Abbazia an der istrischen Ostküste. Auch hier verschwinden an drei nahe benachbarten Stellen beträchtliche Quantitäten von Meerwasser. Es sind weit über 1000 Sekundenliter, welche scheinbar spurlos verschwinden. Den „Teufelsbrunnen“ hat man diese Lokalität benannt, wohl um das Schwerzuverstehende dieses Phänomens anzudeuten.

In der Tat, es wäre fast unmöglich zu erklären, wohin das Wasser fließt, wenn man nicht annehmen wollte, daß es an anderer Stelle dem Meere wieder zuströmt [1]). Aber auch dieser Kreis-

---

[1]) Es ist allerdings auch die Ansicht ausgesprochen worden — wenn sie auch nie bestimmt vertreten wurde —, daß das von den Meeresschwinden absorbierte Wasser in große Tiefen der Erde, an den Sitz des Vulkanismus herabdringe und dort infolge von Explosionen die in Küstengebirgen so häufige vulkanische Tätigkeit bewirke. Erstens ist hiergegen einzuwenden, daß der Vulkanismus doch viel zu

lauf ist durchaus nicht einfach zu deuten; trotzdem aber kann man sagen, daß dies hinreichend geschehen ist.

Zunächst hat man ganz richtig erkannt, daß die Meeresschwinden sich allein auf Karstgebiete beschränken oder, besser gesagt, beschränken können. Denn nur durch die dort herrschende hohe Klüftigkeit und das reich ausgebildete Höhlenphänomen ist es überhaupt möglich, daß das Meerwasser ins Gebirge eindringt.

Aber wie das dem Meere entströmende Wasser wieder ins Meer zurückgelangt, diese Frage ist auf verschiedene Weise gedeutet worden.

Die erste Erklärung verdanken wir Mousson. Nach dessen Ansicht dringt das Meerwasser auf Spalten in jene großen Tiefen hinab, in welchen weit höhere Temperatur herrscht. Dort wird es erwärmt und steigt auf einer anderen Stelle wieder empor. Dieser Kreislauf erklärt sich dadurch, daß das emporströmende erwärmte Wasser spezifisch leichter ist, als das in die Tiefe dringende kalte Wasser.

Sobald dieser Kreislauf einmal in Gang geraten ist, dann ist er physikalisch durchaus zu verstehen. Denn die Kraft, welche die Bewegung erhält, die Erdwärme, ist, nach menschlichem Maß gemessen, als unerschöpflich zu betrachten.

Vom geologischen Standpunkte aus läßt sich aber dagegen einwenden, daß erstens Spalten und Höhlenbildungen kaum in solch große Tiefen hinabsetzen können, und zweitens daß man, selbst wenn dies möglich wäre, nicht verstehen kann, wie dieser Kreislauf zuerst entstanden sei. Wenn zwei röhrenförmig gestaltete Höhlen in die Tiefe setzen und dort kommunizieren — warum dringt denn nur auf der einen Seite das Wasser in die Tiefe, während es auf der anderen emporsteigt? Der erste Anstoß zu der Bewegung ist von dieser Theorie nicht erklärt.

Aber selbst den Fall gesetzt, daß ein solcher sich wirklich finden ließe — wir müßten dennoch die Theorie Moussons als zu unwahrscheinlich verwerfen und der Ansicht J. Partschs bei-

---

ungleichmäßig tätig ist, als daß er das gleichmäßige Verschwinden des Meerwassers erklären könnte; zweitens befinden sich gerade die bekannten Meeresschwinden in Gebieten, welche durchaus frei von vulkanischer Tätigkeit geblieben sind.

pflichten [1]) —, nämlich, daß die Theorie nur das für sich hat, daß sie sich weder beweisen noch widerlegen ließe. Die Annahme derselben kommt also einem Verzicht auf die Erklärung des Phänomens gleich, weil dadurch nur eine Reihe neuer Rätsel sich entwickelt.

Die zweite Erklärung für das Phänomen der Meeresschwinden von Argostoli wurde von Fouqué gegeben [2]). Die Theorie dieses Forschers setzt mit einer bestimmten Beobachtung ein. Es treten nämlich jenseits der kanalartig gestalteten Bucht von Argostoli eine Reihe von Brackwasserquellen zutage — ein deutliches Zeichen, daß die in den Quellen hervorbrechenden Wasser Zuflüsse vom Meere her haben.

Das Meerwasser, welches auf der einen Seite der Bucht in die Tiefe strömt, kommt nach Fouqué auf der anderen Seite mit Süßwasser gemischt als Brackwasserquell wieder hervor.

Auch nach dieser Erklärung haben wir ein kommunizierendes Höhlenröhrensystem, welches jedoch nicht, wie Mousson angenommen hat, in große Tiefen hinabzuführen braucht. Denn nicht die Erdwärme bewirkt das Wiederaufsteigen der von den Meeresschwinden absorbierten Wassermassen, sondern Süßwasserquellen, deren spezifisch leichteres Wasser sich mit dem schwereren Salzwasser mischt. Schweres Salzwasser dringt also in die Tiefe, während leichteres Brackwasser wieder emporsteigt.

Da nun in dem einen Schenkel des kommunizierenden Röhrensystemes sich schweres Meerwasser befindet, im anderen aber leichteres Brackwasser, so ist es sehr wohl zu verstehen, warum die brackischen Quellen oberhalb des Meeresspiegels wieder zutage treten können.

Die Theorie Fouqués hat vor der Moussons einmal das voraus, daß sie sich auf tatsächliche Beobachtungen stützt, und daß sie zweitens für die in Karstgebieten herrschenden Verhältnisse gleichsam zugeschnitten ist.

Unsere Fig. 13 gibt in einem schematischen Profil die Auffassung Fouqués wieder.

SW bedeutet Süßwasser, *Br W* Brackwasser, *MW* Meerwasser. Die Strömungsrichtung ist durch Pfeile angedeutet.

---

[1]) J. Partsch, Kephalonia und Ithaka. Petermanns geograph. Mitteil. 1890, Ergänzungsheft 98.

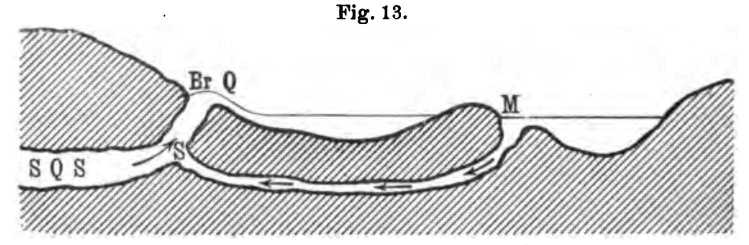
[2]) Archive des missions scientifiques 4.

Einen Umstand berücksichtigt aber die Fouquésche Theorie der Meeresschwinden ebenfalls nicht, nämlich die Entstehung einer solchen. Warum strömt das Meerwasser in den Bereich der aufsteigenden Süßwasserquellen? Sehr viel einfacher wäre es doch, wenn das süße Wasser, dessen spezifisches Gewicht geringer ist als das des Brackwassers, emporströmen würde, ohne erst salziges Wasser mitzunehmen!

Warum dies dennoch geschieht — die Erklärung hierfür verdanken wir Wiebel[1]). Nach dessen Meinung kommt das Meerwasser in den Bereich der Saugwirkung von Quellströmen. Deswegen vermischt sich Meer- und Süßwasser und steigt als Brackwasser empor.

Die Wiebelsche Theorie ist daher in ihrem Kernpunkt als die weiter ausgebildete Fouquésche Theorie aufzufassen. Sie erklärt die Verhältnisse in befriedigender Weise.

Fig. 13.



Schematisches Profil durch die Meeresschwinde von Argostoli.
S Q S Süßwasserquellstrom; *S* Saugpunkt; *M* Meeresschwinde; *Br Q* Brackwasserquelle.

Daß bezüglich des bestimmten Falles bei Argostoli Wiebel der Ansicht zu sein scheint, daß das Meerwasser an anderer Stelle (nämlich im Osten) hervorkommt, als Fouqué meint — das ist ohne Belang für die Theorie selbst.

Das Phänomen der Meeresschwinden hat jedenfalls hiermit seine Erklärung gefunden[2]).

Bei Argostoli haben wir indessen einen sehr komplizierten Fall des Phänomens der Meeresschwinden vor uns. Muß doch

---

[1]) Wiebel, Die Insel Kephalonia und die Meermühlen von Argostoli. Hamburg 1873.

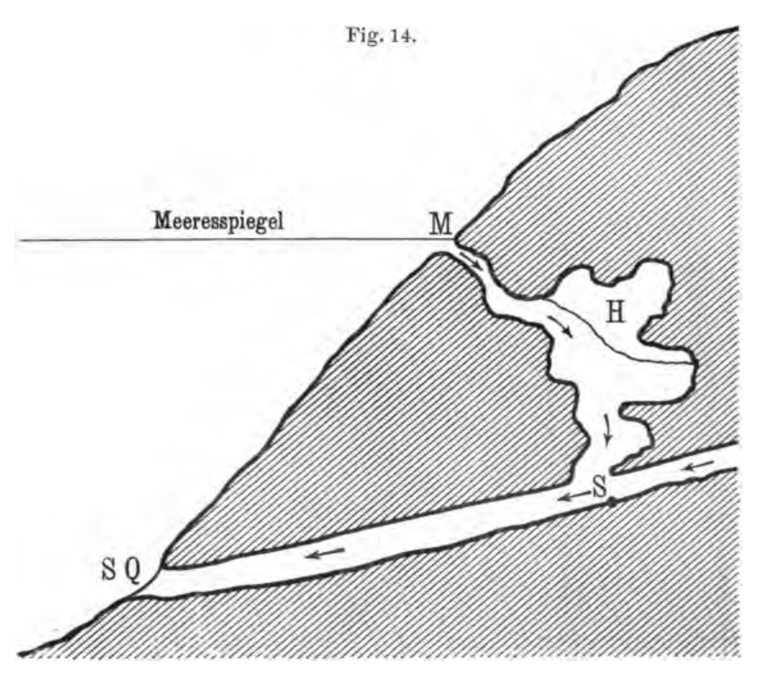
[2]) Die wiederholt von Martel ausgesprochene Behauptung, daß das Phänomen der Meeresschwinden bisher unerklärt sei, beruht also auf Irrtum.

das Meerwasser einen langen tunnelartig gestalteten Höhlenweg unterhalb der Meeresbucht — der östlichen nach Wiebel, der westlichen nach Fouqué — durchlaufen, bis es wieder emporsteigt!

Das dies wirklich geschieht, scheinen die Brackwasserquellen allerdings zu beweisen.

Aber im allgemeinen wird sich der Vorgang unseres Erachtens viel einfacher gestalten: Ein Höhlenfluß von bedeutendem

Fig. 14.



Schematisches Profil durch eine beliebige Meeresschwinde.
M Meeresschwinde; *H* Höhle; *S* Saugpunkt; *S Q* Submarine Quelle.

Gefälle mündet, wie die Fig. 14 zeigt, submarin ein. Infolge seiner heftigen Strömung reißt er die Luft der Höhlenräume *H* mit sich, mit denen die Wasserhöhle kommuniziert. Der Wasserlauf wirkt also vermöge seiner starken Strömung mithin nicht anders als die Wasserluftpumpe Bunsens. Die mit verdünnter Luft erfüllten Hohlräume wirken naturgemäß auf ihre Umgebung saugend;

und wenn Meerwasser in den Bereich der Saugtätigkeit kommt, wird es absorbiert.

Die treibende Kraft dieses Kreislaufes ist also der große Druck, unter welchem das Wasser eines Höhlenflusses hervorbricht. Durch diesen wird die saugende Tätigkeit bedingt. Als zufälliges Ereignis erscheint es, daß das auf Spalten in das Gebirge eindringende Meerwasser gerade in den Bereich der Saugwirkung kommt. Denn zumeist wird wohl Luft genügend eintreten können, daß es dessen nicht bedarf. Darauf beruht die Seltenheit des Phänomens der Meeresschwinden.

Würde man etwa bei dem Punkte *A* unserer Figur einen Schacht abteufen, welcher auf die Höhlenräume *H* mündet, wie es die punktierte Linie andeutet, so würde die Meeresschwinde zu laufen aufhören, weil durch die beträchtliche Luftzufuhr die saugende Kraft des Quellstromes gebrochen wäre. — Ein Experiment, welches praktisch durchzuführen naturgemäß großen Schwierigkeiten begegnen würde.

Was die Existenz submariner Quellbäche gelehrt hat, nämlich daß eine positive Strandverschiebung an den Orten ihres Hervorbrechens stattgefunden hat, welche die Quellöffnung unter den Meeresspiegel zu liegen brachte, das beweist natürlich auch die Existenz der Meeresschwinden.

Auch hier hatten wir einst einen oberhalb des Meeresspiegels einmündenden Höhlenfluß, welcher mit anderen Höhlungen im Gestein in Verbindung stand. Durch diese Höhlen konnte die Luftzufuhr vermittelt werden, welche durch die gleichsam „pumpende“ Bewegung des Höhlenflusses benötigt wurde. Nun kam die positive Strandverschiebung. Die Quellöffnung kam unter den Meeresspiegel zu liegen und das ständig steigende Meerwasser gelangte schließlich in den Bereich der Saugtätigkeit des submarin einmündenden Flusses, indem es bis zu jener Öffnung stieg, durch welche die Luft bisher aufgesaugt wurde. So entstand die Meeresschwinde.

Infolge der durch das strömende Meerwasser ausgeübten Korrosion bildete sich eine Schlundhöhle — analog den Ponorhöhlen der Flüsse. Wir haben somit den eigenartigen Fall, daß das Meerwasser vermöge seiner Strömung höhlenbildend wirkt.

Das Phänomen der Meeresschwinden muß bei fortdauerndem Steigen des Meeresspiegels schließlich ein Ende nehmen. Und zwar geschieht dies, wenn der hydrostatische Druck des über der Quellöffnung stehenden Meerwassers allmählich so hoch gestiegen ist, daß er dem Druck des submarin einmündenden Höhlenflusses gleich kommt. Dann hört die immer mehr verlangsamte Strömung, somit auch deren Saugwirkung auf, und mit ihr erstirbt das schon lange zuvor senil gewordene Phänomen der Meeresschwinden.

Bei noch weiterer Steigung des Meeresspiegels muß der Quellstrom schließlich seinen Lauf ändern. Dann bedient er sich als Ausflußkanal, wie zu erwarten, desselben Weges, auf welchem das Meerwasser zuvor in das Gebirge eingedrungen war; es findet eine **Inversion der Meeresschwinde** statt.

Die Meeresschwinde würde dann zu einer Süßwasserquelle werden. Bezüglich vieler Quellen, welche nahe dem Meeresspiegel submarin hervorbrechen, ließe sich die Frage aufwerfen, ob ihre Kanäle nicht zu einer früheren Zeit als Meeresschwinden angelegt waren.

Die hier niedergelegte Ansicht über das Problem der Entstehung von Meeresschwinden wird durch ein anderes Phänomen bestätigt, welches in einem anderen Karstgebiete, weitab vom eigentlichen Karst, im südlichen Frankreich beobachtet wurde.

Dort sind die Kalk- und Dolomitgesteine der Juraformation verkarstet. Als ein echtes, wenn auch seltenes Karstphänomen findet sich daher auch eine Meeresschwinde daselbst; sie ist in dem haffartigen Meerbusen von Thau im Norden der Stadt Cette gelegen. Der Schlund, in den sich das Salzwasser ergießt, führt den Namen Enversac (auch Enbersac und Embressac) [1].

Dieser Ort ist merkwürdigerweise in der Literatur so gut wie unbekannt. Martel erwähnt ihn nur flüchtig, ohne aber näher auf die Umstände einzugehen. Er bemerkt nur, daß es, wie bei Argostoli, ein unerklärtes Phänomen sei [2].

Wenn auch die Verhältnisse der Meeresschwinde von Enversac bisher keine besondere Beachtung gefunden haben, so ist darum nicht anzunehmen, daß sie unwichtig sei. Im Gegenteil,

---

[1]) Der Name Enversac leitet sich von „inversae aquae“ ab. Die Lokalität muß daher schon zur Römerzeit bekannt gewesen sein.

[2]) E. A. Martel, Les abîmes, p. 154. Das Phänomen ist aber keineswegs so unerklärlich, als Herr Martel es sich vorstellt.

sie besitzt eine Eigenschaft, welche sie vor allen anderen Meeresschwinden auszeichnet, eine Eigenschaft, durch deren rechtzeitige Kenntnis das Problem der Meeresschwinden weit früher seine richtige Deutung hätte finden können: sie ist nur im Sommer eine Meeresschwinde, im Winter aber eine Quelle.

Ich möchte dieses in der Tat sehr merkwürdig erscheinende Phänomen folgendermaßen erklären: Die Wassermassen, welche durch ihre heftige Strömung eine so große Saugwirkung ausüben, daß dadurch das Wasser in den Schlund von Enversac gezogen wird, wachsen zur nassen Jahreszeit (im Winter) in dem Maße an, daß sie in ihrem gewöhnlichen Bette nicht Raum genug finden, mithin andere Auswege sich schaffen müssen. Das Ergebnis ist, daß der Druck des Süßwassers schließlich stark genug wird, um die Strömung des eindringenden Meerwassers zu überwinden. Es steigt daher das süße Wasser in demselben Schlund empor, in welchem das Meerwasser zuvor in die Tiefe gestürzt ist.

Diese zeitweilige Inversion einer Meeresschwinde liefert meines Erachtens den direkten Beweis dafür, daß das Phänomen der Meeresschwinden auf Vorgängen beruht, welche nahe der Erdoberfläche sich vollziehen — daß es also nicht durch die Moussonsche Theorie erklärt werden kann, weil nach dieser Theorie die absorbierten Meerwassermengen keinen Schwankungen unterworfen sein können.

Die Verhältnisse von Enversac lehren ferner, daß die Inversion einer Meeresschwinde ein Vorgang ist, welchem sich nur unbedeutende mechanische Hindernisse entgegenstellen. Kann doch allein die vermehrte Wasserzufuhr der nassen Jahreszeit bewirken, daß die Inversion eintritt.

Die Meeresschwinde von Enversac ist bereits in einem gewissen Stadium der „Senilität“ angelangt. Das Meerwasser ist schon so weit gestiegen, daß es auf die in der Tiefe ausströmenden Wasser bereits einen sehr großen Druck ausübt, und die Strömung des submarin einmündenden Höhlenflusses ist gerade noch groß genug, um durch ihre Saugwirkung die Meeresschwinde hervorzurufen. Werden infolge höherer Wasserzufuhr die Druckverhältnisse geändert, so ist diese geringe Änderung bereits imstande, die landeinwärts gerichtete Strömung umzukehren. Lassen wir die positive Strandverschiebung, durch welche die Meeresschwinde entstanden ist, ihren Fortgang

nehmen, so wird in — geologisch gesprochen — kurzer Zeit die, wie wir sehen, „gealterte“ Meeresschwinde erstorben sein.

Wir müssen nun einer anderen Frage näher treten, nämlich woher es kommt, daß so wenige Meeresschwinden beobachtet sind, während submarine Quellen, welche doch ihre Entstehung veranlassen, so zahlreich sind. Dies erklärt sich durch verschiedene Umstände. Erstens sind die Meeresschwinden nur auf Karstküsten beschränkt und von diesen nur auf solche, an denen eine positive Strandverschiebung zu konstatieren ist. Zweitens ersterben die Meeresschwinden, sobald die Strandverschiebung einen gewissen Betrag überschritten hat. Dabei ist es sehr fraglich, ob das Meerwasser bei seinem Ansteigen abermals in den Bereich der Saugtätigkeit anderer Quellbäche kommen kann, so daß neue Meeresschwinden entstehen.

Dennoch mögen noch viele Meeresschwinden vorhanden sein, deren Existenz einesteils in der Literatur wohl irgendwo einmal Erwähnung getan, jetzt aber völlig in Vergessenheit geraten ist, anderenteils aber unbeobachtet geblieben ist.

Jedenfalls deutet ein anderes an Meeresküsten recht häufiges Phänomen darauf hin, daß Meeresschwinden des öfteren vorkommen müssen: das sind die Brackwasserquellen. Diese sind — von dem Fall abgesehen, daß sie steinsalzführenden Gesteinen entspringen — ein sicherer Beweis dafür, daß Meerwasser irgendwo in ihr Strömungsgebiet gedrungen sein muß. Die Meeresschwinden müssen also, wenn sie zumeist wohl auch nur sehr unbedeutend sein mögen, weit öfter vorkommen, als bisher beobachtet wurde. Ihre scheinbare Seltenheit mag fernerhin darauf zurückzuführen sein, daß die Meeresschwinden nur dann zu beobachten sind, wenn sie am Meeresspiegel oder nahe unter demselben sich finden; die tiefer gelegenen entziehen sich naturgemäß der Beobachtung.

Die Meeresschwinden haben wir als ein Karstphänomen bezeichnet. Das bezieht sich indessen nur auf die Art von Meeresschwinden, bei denen das Meerwasser in große Schlünde unter heftigem Wallen sich stürzt. So bei Argostoli, bei Abbazia, am Enversac.

Derjenigen Meeresschwinden aber, welche durch Eintreten des Meerwassers in die Spalten irgend eines klüftigen nichthöhlenführenden Gesteines entstehen, haben wir noch nicht gedacht.

Sie sind auch bisher niemals direkt nachgewiesen worden, vielmehr gibt sich ihr Vorhandensein nur gelegentlich durch das Auftreten von Brackwasserquellen zu erkennen. Diese naturgemäß nur sehr viel unbedeutenderen Meeresschwinden würden nicht zu der Reihe der Karstphänomene zu zählen sein.

Die echten Meeresschwinden aber, welche bisher beobachtet wurden, sind Karstphänomene. Sie sind in zwiefacher Hinsicht von großer Bedeutung: Einmal liefern sie den **sicheren Beweis für die Existenz unterirdischer Höhlenflüsse** und zweitens geben sie uns Zeugnis von einer wichtigen Kraft, der **Saugkraft der Quellen.**

Dreizehntes Kapitel.

Die Entstehung von Höhlenflüssen.

Übergang des Grundwassers in einen Höhlenfluß. — Zerklüftungszonen. — Grundwasserströme. — Höhlenfluß und Grundwasserstrom. — Entstehung der Zerklüftung. — Experimente Daubrées. — Zerklüftungszonen im Fränkischen Jura. — Zerklüftungszonen und Grundwasserströme in der Paderborner Hochfläche. — Saugkraft der Quellen. — Quellströme und deren Saugkraft. — Entstehung der Flußponore durch die Saugkraft unterirdischer Flüsse. — Rückwärtsschreitende Korrosion. — Nachlassen der Saugkraft bei zunehmender Verkarstung. — Zusammenfassung.

Da die Höhlen, welche den Flüssen des Karstes als Flußbetten dienen, nicht primär im Gestein vorhanden waren, sondern später durch das fließende Wasser als Erweiterungen von Spalten sich gebildet haben, ist die Frage nach der Entstehung der Höhlenflüsse zugleich die nach der Entstehung der Höhlen selbst.

In den stark zerklüfteten Karstgesteinen rieselt das Wasser auf den Spalten von der Oberfläche zur Tiefe, um dort in das Grundwasser überzugehen. Auf dem Wege, den es dabei zurücklegt, entfaltet es, wie wir gesehen haben (vgl. Kap. V), seine Korrosionstätigkeit und schafft sich Höhlungen im Gestein, welche als Abzugskanäle in die Tiefe führen. So entstehen einerseits

die sogenannten Naturschächte, andererseits jene Höhlen, welche als mehr oder weniger große Erweiterungen von Spalten anzusehen sind, deren Böden aber ein so verschieden gerichtetes Gefälle besitzen, daß sie niemals fließendem Wasser als Flußbett gedient haben können.

Jene Höhlen aber, welche als unterirdische Flußbetten auftreten, können, wie ihre Längserstreckung innerhalb einer ziemlich horizontalen Ebene anzeigt, ursprünglich nur dort angelegt sein, wo das Wasser der Niederschläge in das Grundwasser übergehend in horizontaler Richtung weiterströmt. An der Grenze der Vertikalentwässerung, da wo diese in die Horizontalentwässerung übergeht, also im fließenden Grundwasser des Karstes, können die Wasserhöhlen allein sich gebildet haben.

Es war in dem Abschnitt über Grundwasser und Quellen (S. 20) gezeigt worden, daß das Grundwasser eine bestimmte Strömungsrichtung besitzt, und zwar von der Mitte zum Rande der Gebirgsteile hin, wo es in Quellen zutage tritt. Aus dieser langsamen Strömung des in engen Spalten sich bewegenden Grundwassers muß sich nun im Laufe der Zeit ein echter Fluß gebildet haben, welcher einen tunnelartigen Höhlengang sich zum Flußbett geschaffen hat. Die Frage, wie dies geschehen, ist das wichtigste Problem, welches das Auftreten von Höhlenflüssen der Forschung stellt. Wir wollen versuchen, der Lösung dieses Problemes näher zu treten.

Bei Annahme vollständig gleichmäßiger Zerklüftung muß das Grundwasser die Neigung haben, innerhalb des Netzes von Spalten von allen Seiten her auf dem kürzesten Wege — also radial — zu den Quellen hinzuströmen. Wenn die Bewegung aber von allen Seiten her gleichmäßig erfolgt, ist leicht einzusehen, daß sich Höhlenflüsse auf diesem Wege nicht bilden können. Denn zur Entstehung dieser ist erforderlich, daß gewisse Stromwege derart begünstigt sind, daß das strömende Grundwasser sie immer wieder benutzt und so in unterirdische Flußbetten umwandelt.

Die Möglichkeit zur Entstehung von unterirdischen Flüssen ist vielmehr nur dann gegeben, wenn die Klüfte nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern wenn bestimmte Zonen vorhanden

sind, welche sich durch einen höheren Grad von Klüftigkeit auszeichnen. Dann wird das Wasser vorwiegend in diesen Bruchzonen sich bewegen, weil der Reibungswiderstand in diesen ein geringerer ist.

Wenn also im Gestein zwischen minder zerklüfteten Massen Zonen stärkerer Zerklüftung vorhanden sind, dann können letztere als zur Entstehung von unterirdischen Flußbetten gleichsam prädestiniert angesehen werden.

Nun scheinen die verschiedenerorts gemachten und durch Experimente bestätigten Beobachtungen darauf hinzuweisen, daß solche Zerklüftungszonen tatsächlich auftreten, ein Umstand, auf welchen später noch zurückzukommen ist.

Da das Wasser in diesen Zerklüftungszonen sich weit schneller bewegt, als im übrigen Grundwasser, so wird es hier auch seine Korrosionstätigkeit in höherem Maße entfalten. Dadurch werden die vorhandenen Klüfte dieser Zonen beständig erweitert, so daß sie in ständig zunehmendem Maße vom fließenden Grundwasser in Anspruch genommen werden, bis sie schließlich die unterirdische Drainage allein vermitteln und die benachbarten Gebiete mit geringerer Zerklüftung nur noch feinere Wasseradern dem Hauptdrainagesystem tributär zusenden.

Diese in besonderen Zerklüftungszonen sich bewegenden Grundwassermassen seien kurzweg Grundwasserströme benannt.

Man kann die Grundwasserströme auch als unterirdische Flüsse bezeichnen, wenn auch noch nicht als Höhlenflüsse. Denn solche Grundwasserströme können auf die angegebene Weise in vielen Gesteinen sich bilden, während echte Höhlenflüsse nur in Karstgesteinen vorkommen. Denn nur in diesen vermag das Wasser die Spalten in größere Tunnelhöhlen zu verwandeln, so daß Höhlenflüsse entstehen.

Der Übergang der Grundwasserströme in Höhlenflüsse ist also, wie aus dieser Entstehungsart hervorgeht, kein unvermittelter, sondern ein allmählicher. Der Höhlenfluß ist das Endergebnis eines lange zuvor eingeleiteten Prozesses.

Das erste Stadium desselben ist durch die Entstehung eines Grundwasserstromes gekennzeichnet.

Das zweite Stadium ist die Erweiterung einzelner der Spaltenkanäle des Grundwasserstromes in Tunnelhöhlen.

Da dieser Prozeß nur allmählich vor sich geht, erscheint es als ganz selbstverständlich, daß zuweilen ein Höhlenfluß plötzlich in einzelne Spalten übergehen kann, zwischen welchen er eine gewisse Strecke eingeengt dahinfließt, um dann aber wieder ein Höhlenfluß zu werden. In einem solchen Fall ist die Umwandlung eines Grundwasserstromes in einen Höhlenfluß noch als unvollständig anzusehen, da noch Strecken darin vorkommen, an welchen das ursprüngliche Grundwasserstrombett beibehalten ist.

Grundwasserströme sind in Karstgebieten also gleichsam embryonale Höhlenflüsse, und diese „ausgewachsene“ Grundwasserströme.

Die hier niedergelegte Auffassung unterscheidet sich wesentlich von der im XI. Kapitel erörterten Grundwassertheorie. Denn nach dieser wird ein Übergang des Höhlenflusses in das allgemein verbreitete Grundwasser angenommen, während nach unserer Auffassung der Übergang nicht in dieses, sondern in einen Grundwasserstrom erfolgt, welcher nach einiger Zeit in einen echten Höhlenfluß übergeht, bzw. übergehen kann. Die Grundwasserströme sind eben nichts anderes, als unterirdische Flüsse, deren Wasser indessen vielfach in zahlreiche Arme gegabelt dahinfließt. Bald vereinigen sich die Arme zu einem Höhlenfluß, bald teilen sie sich wieder und es entsteht ein Grundwasserstrom. Es bleibt unbestimmt, ob nicht viele der als „Siphone“ bekannten Unterbrechungen der Höhlenflüsse Reste aus jener Zeit sind, als der gesamte Fluß ein Grundwasserstrom war.

Im Laufe der Zeit wird jedenfalls der Grundwasserstrom immer mehr zum Höhlenfluß werden, falls nicht etwa die Höhle durch Einstürze zuvor verschüttet wird.

Die hier ausgeführte Erklärung der Entstehung von Höhlenflüssen beginnt jedoch mit einem „Wenn“. Wenn die Gesteinsmassen eines Gebirges derart zerklüftet sind, daß neben der das ganze Gebiet gleichmäßig durchsetzenden Zerklüftung noch besondere Zonen existieren, in welchen die Klüftigkeit eine ganz besonders starke ist, dann können Grundwasserströme in der angegebenen Weise entstehen. Gibt es aber wirklich in den Gesteinen Zonen größerer Zerklüftung zwischen solchen ge-

ringerer, oder sind alle Teile eines größeren Gebietes in gleichem Maße zerklüftet? Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten, da die Zerklüftung an der Oberfläche nur selten auf große Strecken zu beobachten ist.

Wie jedoch schon angedeutet, sprechen sowohl Experimente als auch Beobachtungen für die erstere Ansicht.

Die Entstehung der Zerklüftung; Experimente A. Daubrées; Zerklüftungszonen. Die Zerklüftung der Gesteine ist, wie bereits ausgeführt wurde (Kap. III u. IV), von der chemischen Beschaffenheit derselben abgesehen, die Hauptbedingung zur Entstehung der Höhlen und Karstphänomene. Die Entstehung der Klüftigkeit ist somit eine Frage, welche für das Verständnis des Höhlenphänomens von hoher Bedeutung ist.

Die Ursachen der Zerklüftung können einerseits im Gestein selbst (endogen) zu suchen sein, andererseits kann die Zerklüftung auch durch von außen her wirkende Kräfte (exogen) hervorgebracht sein.

Als endogene Zerklüftung ist zum Beispiel die Spaltbarkeit vieler Eruptivgesteinsmassen in Säulen oder Würfel zu betrachten. Diese Klüftigkeit ist eine Folge der durch Erstarrung des Magmas bewirkten Kontraktion.

Ebenso sind die sogenannten Trockenrisse, welche durch Volumverminderung eines schlammigen Gesteines oder besser Gesteinsbreies infolge der Verdunstung seines Wassergehaltes entstanden sind, als endogene Zerklüftungsursachen zu nennen. Trockenrisse kommen in der Natur ja allerdings vor, aber niemals können sie eine Zerklüftung im Gestein hervorbringen, so beträchtlich, daß Höhlen durch Erweiterung der Klüfte sich bilden können.

Zu den endogenen Zerklüftungsursachen muß auch die Dolomitisierung gezählt werden. Es ist nämlich von vielen Dolomitmassen mit einem hohen Grad von Wahrscheinlichkeit gezeigt worden, daß sie aus Kalk durch Infiltration magnesiaführender Gewässer in Dolomit verwandelt worden sind. Dieser Vorgang, die „Dolomitisierung“ genannt, muß mit einer nicht unbedeutenden Volumverminderung verbunden gewesen sein. Denn das spezifische Gewicht des Kalkes beträgt **2,7**, das des

Dolomites **2,9** [1]). Es muß also die Kalkmasse nach ihrer Dolomitisierung um etwa $^1/_8$ ihres Volumens zusammenschrumpfen. Da die Kalke jedoch feste Gesteine sind, so wird die Volumverminderung durch Entstehung von Rissen und Klüften sich aussprechen. Die hochgradige Zerklüftung vieler Dolomitgesteine ist möglicherweise zum Teil wenigstens auf diesen Vorgang zurückzuführen. Dabei muß aber in Betracht gezogen werden, daß die stattgefundene Dolomitisierung eines Kalkes nur mit einem höheren oder geringeren Grade von Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann. In vielen Fällen sprechen jedenfalls unzweideutige geologische Beobachtungen dafür, daß der Dolomit sich unmittelbar als solcher niedergeschlagen hat, und daß er nicht durch chemische Metamorphose aus Kalk hervorgegangen sein kann. Abgesehen davon müssen wir erwähnen, daß die als metamorph angesehenen Dolomite im allgemeinen sehr porös sind; mithin kann die bei der Umwandlung des Kalkes in Dolomit vorgegangene Volumverminderung sich durch die Bildung der zahlreichen Poren kundgeben. Gleichwohl kann aber auch die Zerklüftung wenigstens zum Teil durch die Dolomitisierung hervorgebracht sein. Die durch den Dolomitisierungsvorgang hervorgerufene Zerklüftung bildet den Übergang zwischen der Zerklüftung aus endogenen und exogenen Veranlassungen. Denn die Schrumpfung ist endogen, die Herbeischaffung magnesiahaltiger Gewässer aber ist eine exogene Zerklüftungsursache. Ob eine Pressung durch Gebirgsdruck, also eine typisch exogene Zerklüftungsursache, oder ob chemische Kraft, nämlich die Neigung der durch die Wasser infiltrierten Magnesialösung, mit Kalk Doppelverbindungen einzugehen, die Zerklüftung bedingt, ist insofern das gleiche, als beides von außen her (exogen) wirkende Kräfte sind.

Ungleich wichtiger, als die endogenen Zerklüftungsursachen sind jedenfalls die exogenen. Die Kraft, welche sie bedingt, ist der Gebirgsdruck. Dieser wird auf die allmähliche Erstarrung unseres noch warmen Erdinnern und die dabei sich vollziehenden Schrumpfungsvorgänge zurückgeführt. Der Gebirgsdruck, oder

[1]) Die Zahlen der spezifischen Gewichte sind nur annäherungsweise angegeben. Da in der Natur die Gesteine niemals chemisch rein sind, genügt dies vollkommen. Reiner Kalkspat hat ein spez. Gew. = 2,72, Dolomit aber 2,90.

allgemein ausgedrückt, die tektonischen Kräfte wirken tangential zur Erdoberfläche; sie äußern sich also in horizontalem Schub. Dieser wiederum bewirkt, daß die Erdkruste in Falten zusammengeschoben oder heftig gepreßt wird. Faltung an einem Widerlager erzeugt häufig Torsion.

Als Produkt dieser tektonischen Vorgänge müssen wir im allgemeinen die Zerklüftung ansehen. Hierfür sprechen vornehmlich folgende vier Umstände:

1. die hohe Zerklüftung in tektonisch stark gestörten Gebieten;
2. die verhältnismäßig höhere Zerklüftung längs größeren Bruchlinien der Erdkruste;
3. die auf großen Flächen völlig parallel streichenden Klüfte, deren Richtung sich zumeist auch nur mit einer stattgehabten Richtungsänderung im Gebirgsdruck wechselt;
4. der häufige Übergang der Klüfte in benachbarte Gesteine verschiedenen Alters und oft auch verschiedener Entstehung.

Der Gebirgsdruck wirkt in zweierlei Weise:

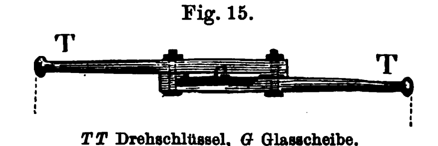
1. durch einfachen Druck: Anfänglich entsteht eine einfache Pressung; bei Erhöhung des Druckes tritt Faltung ein;
2. durch Torsion; diese entsteht, wenn mit der Faltung auch zugleich eine Drehung um eine gedachte horizontale Achse erfolgt. Die Torsion wird beispielsweise dadurch verursacht, wenn die Faltung der Erdkruste durch irgend ein anderes Gebirgsmassiv gestaut wird, oder wenn der eine Teil der gefalteten Flächen sich senkt, bzw. der andere sich hebt usw.

Beide Formen des Gebirgsdruckes sind häufig in der Natur zu beobachten. Ihre Wirkungen sprechen sich auch in der für die Entstehung der Höhlen so wichtigen Zerklüftung der Gesteine aus.

Wir folgerten aus dem Vorhandensein der in den Klüften sich bewegenden Grundwasserströme, daß die das Gestein durchsetzende Zerklüftung nicht gleichmäßig verteilt sein könne, sondern daß sie ganz besonders gewisse Zonen betroffen habe, welche wir als Zerklüftungszonen bezeichneten; dies soll im folgenden dargetan werden.

A. Daubrées Experimente [1]. Die Wirkungen tektonischer Kräfte sind von A. Daubrée experimentell nachgeahmt worden. Die Ergebnisse der Experimente liefern wichtige Fingerzeige für die uns beschäftigende Frage nach dem Vorhandensein von Zerklüftungszonen.

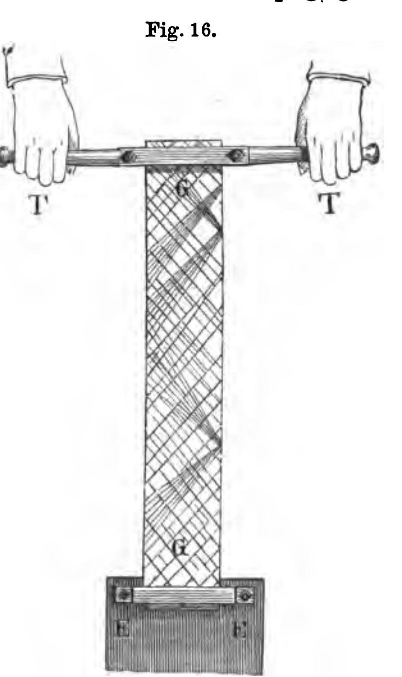
Fig. 15.



TT Drehschlüssel, *G* Glasscheibe.

Um die Wirkung der Torsion auf die Schichten der Erdkruste zu ermitteln, hat Daubrée Scheiben von Spiegelglas, wie nebenstehende, Daubrées Werk entnommene Fig. 15 zeigt, eingespannt und einer leichten Torsion unterworfen [2].

Fig. 16.



Die Art und Weise, wie die Spiegelglasscheibe durch Torsion gesprengt wurde, läßt die Fig. 16 erkennen.

In Hinsicht auf die die Scheibe durchsetzenden Sprünge ist folgendes wahrgenommen worden:

1. Die Sprünge verlaufen (streichen) in zwei Hauptrichtungen, welche einander unter sehr großen Winkeln (stets über 70°) schneiden. In der Natur wird gleiches bezüglich der Gesteinsklüfte ganz allgemein beobachtet.

---

[1] A. Daubrée, Synthetische Studien zur Experimentalgeologie. Braunschweig 1879, Friedr. Vieweg u. Sohn.

[2] Die Dimensionen der Scheiben waren beträchtliche: 90 cm lang, 3,5 bis 12 cm breit und 0,7 cm dick. Damit das Glas bei der Torsion nicht zersplitterte, wurde es zu beiden Seiten mit aufgeleimtem Papier belegt.

2. Es gibt neben der allgemeinen Zerklüftung der Platte auch Sprünge, welche eigentümlich geschart auf gewisse Zonen beschränkt sind. In diesen sind die zahlreichen Sprünge unter schwacher Divergenz rutenförmig angeordnet. Das sind Zerklüftungszonen analog jenen, welche wir in der Tiefe des Gebirges, da wo Grundwasserströme sich bewegen, vermutet haben.

3. Die Sprünge sind verschiedenwertig; einige haben zu einer völligen Zerreißung der Platte geführt, andere sind kaum angedeutet. Sie erreichen oft gar nicht einmal die Oberflächen der gedrillten Scheibe. Eine gleiche Verschiedenheit des Grades der Zerklüftung läßt sich auch in der Erdkruste vielfach beobachten.

4. Die Sprünge sind schiefe Flächen, wie die Fig. 17, der Querschliff durch die Platte (nach Daubrée), zeigt.

5. Die Sprungflächen sind keine Ebenen, sondern oft stark gedrehte Flächen, deren Streichrichtung allerdings nur unbedeutend wechselt. An verschiedenen Stellen besitzen sie aber ein ganz verschiedenes Einfallen.

Fig. 17.

6. Bei gewissen Gruppen von Sprüngen läßt sich jedoch auch ein Parallelismus der Spaltflächen erkennen.

Ganz ähnliche Wirkungen wie durch Torsion hat Daubrée durch das Experiment mittels einfachen Druckes erzielt. Hierzu wurden aus Formwachs geschnittene Würfel unter der hydraulischen Presse starkem Druck unterworfen.

Das Ergebnis war, daß auch hier Spaltensysteme entstanden, welche aufeinander senkrecht stehen. Die Spaltungsflächen sind, wie die Versuche lehrten, stets um etwa 45° gegen die Druckrichtung geneigt. Die hier wiedergegebene Abbildung Daubrées erläutert trefflich die von ihm erzielten Druckwirkungen (Fig. 18).

Auch die zu technischen Zwecken mit Gesteinswürfeln vorgenommenen Druckproben liefern zuweilen merkwürdige Spaltungserscheinungen. Denn auch hier wird der Block oft, namentlich bei harten Gesteinen, in vertikal aufeinander stehende Sprünge zerlegt, wie unsere, ebenfalls Daubrées Experimentalgeologie entnommene Abbildung (Fig. 19) deutlich wiedergibt.

Die durch das Experiment gewonnenen Ergebnisse decken

sich vollkommen mit den Beobachtungen in der Natur. Daß die Klüfte parallel angeordnet sind und aus zwei senkrecht zueinander streichenden Systemen bestehen, ist vielerorts beobachtet worden. Auch die übrigen Ergebnisse der Daubréeschen Experimente,

Fig. 18.



Zerpreßter Würfel von Wachs (nach Daubrée).

namentlich die Wirkungen der Torsion, entsprechen den tatsächlichen Zerklüftungsverhältnissen.

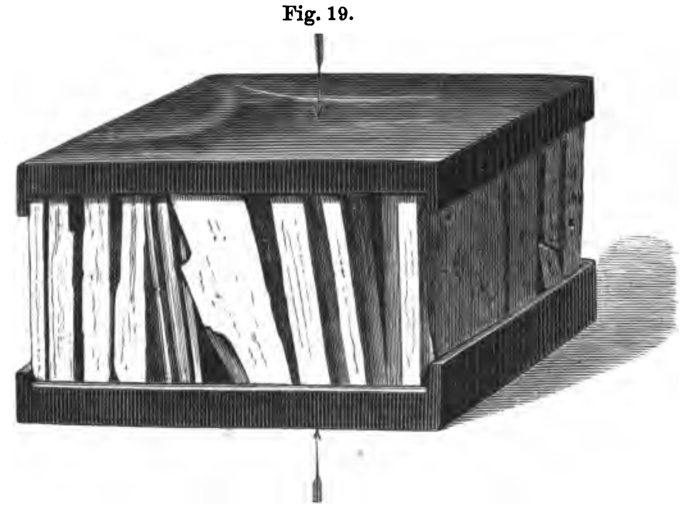
Das über die Sprünge jener Platten von Spiegelglas Gesagte findet der Bergmann täglich in seiner Grube bestätigt. Denn die von ihm abgebauten Erzgänge sind nichts anderes, als solche

durch gebirgsbildende Kräfte entstandenen Spalten; nur sind später nutzbare Mineralien in ihnen zum Absatz gelangt.

Es muß allerdings hervorgehoben werden, daß die Sprünge in den Gesteinen, die Klüfte, im allgemeinen ziemlich vertikale Flächen darstellen, wie es beispielsweise unsere Abbildung (Fig. 20) aus dem Quadersandsteingebirge der Sächsischen Schweiz erkennen läßt.

Daß die Klüfte aber auch zuweilen mehr oder weniger geneigt sind, zeigt die zweite Abbildung (Fig. 21), ebenfalls aus der Sächsischen Schweiz, die Felspartien bei Neurathen darstellend.

Fig. 19.



Zerpreßter Gesteinsblock (nach Daubrée).

Auch hierin erweist sich die Ähnlichkeit des Ergebnisses der Experimente mit dem in der Natur beobachteten. Denn die Sprünge der Glasscheiben waren, wie gesagt, gleichfalls nicht alle senkrecht, sondern viele waren geneigt, wenn ihre Neigung die Horizontale auch stets unter einem großen Winkel schneidet.

Für uns ist das eine Ergebnis der Experimente Daubrées von ganz besonderer Bedeutung: das ist der Umstand, daß sich bei Nachahmung der Wirkungen tektonischer Kräfte neben der, über die ganze von ihnen betroffene Fläche allgemein verbreiteten Zerklüftung deutliche Zonen

Fig. 20.



Ansicht von der „Kleinen Gans“. Vertikale Zerklüftung im Quadersandstein.

unterscheiden, in welchen die Klüftigkeit eine intensivere ist.

Aus dem Vorhandensein von Grundwasserströmen bzw. Höhlenflüssen haben wir auf solche Zerklüftungszonen auch in den von tektonischen Kräften berührten Gesteinsmassen der Erdkruste

Fig. 21.



Felspartie bei Neurathen. Schiefe Zerklüftung im Quadersandstein.

geschlossen. Dieser vorerst nur hypothetische Schluß findet also durch die Experimente seine Stütze.

Neben dem Experiment sind es aber auch wirkliche Beobachtungen, welche auf das Vorhandensein von Zerklüftungszonen hinweisen. Ich will auf die Forschungsergebnisse in zwei weit

voneinander entfernt gelegenen Gebieten besonders hinweisen, in welchen das Vorhandensein von Zerklüftungszonen in neuerer Zeit zur Evidenz erwiesen ist; das eine derselben ist die Fränkische Schweiz, das andere Gebiet ist die Plänerkalkhochfläche südlich Paderborn. In letzterem Gebiete sind neben den Zerklüftungszonen auch echte Grundwasserströme gleich jenen vorhanden, welche wir in Karstgebieten vorausgesetzt haben, um das Vorhandensein der Höhlenflüsse zu erklären.

Zerklüftungszonen im Fränkischen Jura. Das Juragebirge Frankens ist ein Tafelland, aufgebaut aus horizontal gelagerten Schichten der Juraformation, deren oberster Teil namentlich im Norden des Gebirges, in der sogenannten Fränkischen Schweiz, aus Dolomit (Frankendolomit) besteht. Die Dolomite sind stark zerklüftet. Die Klüfte streichen in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen, nämlich von NNW bis SSO und ONO bis WSW.

Da auf diesen Klüften das Wasser zur Tiefe gelangt, haben sich in vielen derselben schlotförmige Höhlenkanäle gebildet, welche von trichterförmigen Einsenkungen an der Oberfläche ausgehend und der Spalte folgend in die Tiefe verlaufen. Erdfälle oder Erdtrichter hat man jene Gebilde benannt. Sie sind ein charakteristisches Karstphänomen, auf welches in dem Abschnitt über Dolinen noch besonders zurückzukommen ist.

Solche Erdfälle weisen also stets auf das Vorhandensein von Spalten im Gestein hin. Oft liegt eine ganze Reihe von Erdfällen in einer geraden Linie; dann können wir mit Sicherheit auf eine Spalte schließen, welche diese verbindet, auch wenn eine solche durch jüngere Gebilde, Ackerkrume, Humusboden, Lehm oder dergleichen verdeckt ist.

In der Gegend von Muggendorf kommen die Erdfälle zu Dutzenden geschart vor. Wie A. Neischls [1]) eingehende Studien gezeigt haben, sind die Erdfälle auf breite Zonen verteilt, zwischen welchen weite Flächen vorhanden sind, auf denen nicht ein einziger Erdfall sich findet.

Aus der von A. Neischl und F. Schöndorf ausgeführten Kartierung der Erdfälle hat sich ergeben, daß diese Zer-

[1]) A. Neischl, Die Höhlen der Fränkischen Schweiz und ihre Bedeutung für die Entstehung der dortigen Täler. Nürnberg 1904.

klüftungszonen gleich den Klüften in zwei aufeinander senkrechten Himmelsrichtungen, also auch in nordnordwestlicher und ostnordöstlicher Richtung streichen.

Genau ebenso, wie die von Daubrée durch Torsion gesprengten Glasplatten unter den zahlreichen Sprüngen einzelne Sprungzonen erkennen lassen, so müssen auch — wie die Verteilung der Erdfälle andeutet — in der Juratafel bei Muggendorf jenen Sprungzonen analoge Zerklüftungszonen auftreten.

Wenn nun diese Zerklüftungszonen in das Grundwasser hinabreichen, so wird sich letzteres vorwiegend in ihnen bewegen, weil der Reibungswiderstand, welchen das Wasser überwinden muß, in den Zerklüftungszonen am geringsten ist. Es werden sich daher richtige Grundwasserströme in der bereits erläuterten Weise bilden können.

Die Annahme besonderer Zerklüftungszonen in jenen Gegenden, wo Höhlenflüsse und Grundwasserströme sich finden, ist also auf Erfahrungen gestützt, welche bei der geologischen Durchforschung anderer Gebiete gemacht sind.

In der Fränkischen Schweiz ist jedoch nur spärlich Grundwasser vorhanden, weil die reichlich auftretenden Talungen nicht allein den Grundwasserspiegel durchschnitten, sondern auch die Sohle des Grundwassers, da wo es auf wasserundurchlässigen Gesteinen sich ansammelt, erreicht haben.

Infolgedessen sind die Zerklüftungen hier auch keine Tracen von Grundwasserströmen. Letzteres ist aber, wie wir sehen werden, in der Paderborner Hochfläche der Fall.

Zerklüftungszonen und Grundwasserströme in der Paderborner Hochfläche. Südlich und südöstlich von der Stadt Paderborn, im Osten vom Eggegebirge, im Westen vom Tal der Alme begrenzt, ist die Paderborner Hochfläche gelegen, ein Tafelland, welches aus annähernd horizontal gelagerten Schichten der Kreideformation aufgebaut ist. Die zutage tretenden mächtigen Kalkmergel des Turon (mittlere obere Kreide), die sogenannten Plänerkalke, sind vielfach stark zerklüftet und, wie die geologischen Untersuchungen von H. Stille [1]) gezeigt

[1]) Dr. H. Stille, Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiet der Paderquellen zu Paderborn. Berlin 1903. Abhandl. d. königl. preuß. geolog. Landesanstalt.

haben, von einer Reihe von Verwerfungen — also solchen Spalten durchzogen, längs deren eine Verschiebung der Gesteinsschichten gegeneinander in vertikaler Richtung erfolgt ist. In der Nachbarschaft dieser im allgemeinen untereinander parallel von SSO nach NNW streichenden Bruchlinien zeichnet sich das Gestein durch stärkere Klüftigkeit aus, und in der Verlängerung der Bruchlinien — auch da, wo eine Verwerfung der Gebirgsmassen gegeneinander nicht mehr wahrzunehmen ist — da hat Stille nachweisen können, daß Zerklüftungszonen an Stelle der Verwerfungen getreten sind. Diese Zerklüftungszonen geben sich durch zwei Erscheinungen deutlich zu erkennen:

1. Durch eine Fülle von Erdfällen, welche ebenso wie die in der Fränkischen Schweiz auf langgestreckte, aber verhältnismäßig schmale Streifen Landes beschränkt sind, welche durch breite von Erdfällen freie Flächen getrennt sind;

2. durch ihre reichlichere Wasserführung im Verhältnis zu den benachbarten minder zerklüfteten Partien.

Die reichlichere Wasserführung ist, wie wir sehen werden, darauf zurückzuführen, daß die Zerklüftungszonen bereits in Grundwasserströme umgewandelt worden sind. Daher kommt es, daß da, wo die Täler die Zerklüftungszonen schneiden, stets eine größere Anzahl von Quellen vorhanden ist.

Je nach dem Wassergehalt der Grundwasserströme variieren diese Quellen an Größe. In trockener Jahreszeit hören sie überhaupt zu fließen auf. Viele dieser Hungerbrunnen [1]) wirken dann sogar als Ponore, indem sie das am Talboden oberirdisch fließende Wasser aufsaugen.

Die Grundwasserströme der Paderborner Hochfläche erhalten ihr Wasser, abgesehen von dem Teil der Niederschläge, welches, auf Spalten in die Tiefe dringend, ihnen zufließt, aus einer Reihe von Flüssen, die vom Eggegebirge herabkommend westwärts über die Paderborner Hochfläche hinweg in das Tal der Alme sich ergießen. Diese Flüsse erleiden nämlich, sobald sie über die spaltenreichen Zerklüftungszonen hinwegfließen, beträchtliche Wasserverluste; und dieses Wasser ist es, welches in den Zer-

---

[1]) Die dortigen Hungerbrunnen führen den Namen „Quickspringe", ein Ausdruck, welcher indessen zu wenig verbreitet ist und weniger aussagt, als die alte Bezeichnung Hungerbrunnen.

klüftungszonen sich bewegend zu einem Grundwasserstrome geworden ist. In dem Gebiet zwischen dem Eggegebirge und dem Tal der Alme sind eine Reihe von Zerklüftungszonen vorhanden, welche die westwärts fließenden Flüsse durchqueren müssen; auf diesen verlieren letztere so viel Wasser, daß sie in trockenen Jahreszeiten oberirdisch überhaupt zu fließen aufhören, und ihre Täler als Trockentäler ins Almetal einmünden.

Da die Zerklüftungszonen eine nordnordwestliche Richtung einnehmen, können die von ihnen aufgenommenen Wasser unterirdisch nicht mehr weiter ihren westwärts in das Almetal gerichteten Verlauf verfolgen, sondern sie werden nordwärts abgelenkt. In den sogenannten „Paderbornen", einer Reihe von vielen hundert Quellen, treten sie innerhalb der Stadt Paderborn wieder zutage.

Wir haben in der Paderborner Hochfläche einen jener Fälle, in welchen zwischen einer orographischen und einer geologischen Wasserscheide unterschieden werden muß: orographisch gehören die vom Eggegebirge kommenden Wasser in das Gebiet der Alme, geologisch aber in das der Pader, jenes Flusses, welcher in den Paderbornen seinen Ursprung nimmt.

Die Trennung zwischen orographischer und geologischer Wasserscheide ist in verkarsteten Gebieten ganz allgemein; so gehört die obere Donau bekanntlich geologisch zum Stromgebiet des Rheins, da sie bei Immendingen unterirdisch in die Hegauer Aach geleitet wird, — orographisch aber ist die Donau vom Rheingebiet durch einen hohen Gebirgswall scharf getrennt, den südwestlichen Teil der Schwäbischen Alb. Ein gleicher Fall tritt uns somit auch im Ursprungsgebiet der Pader entgegen. Von ungleich höherer Bedeutung ist aber in diesem Gebiete ein anderer Umstand, nämlich daß daselbst der Beweis geliefert werden konnte, daß die von den Zerklüftungszonen aufgenommenen Wasser in stromartigem Zusammenhang bleiben und nicht etwa in das Grundwasser übergehen.

Auf eine Reihe planmäßig vorgenommener Färbeversuche gestützt, konnte dieser Nachweis von H. Stille geliefert werden. Es hat sich nämlich gezeigt, daß, je nachdem das Wasser der einen oder der anderen der Grundwasserströme der Paderborner Hochfläche durch Färbemittel gefärbt wird, nach einer gewissen

Zeit ganz bestimmte der vielen hundert Paderquellen gefärbt emporsprudeln, während die übrigen völlig klar bleiben. Dies beweist, daß die Paderquellen nicht dem Grundwasser entstammen können. Denn wäre dies der Fall, dann müßten alle Quellen — vorausgesetzt, daß die Quantität des Farbstoffes hinreichend war — gefärbt springen. Die einzelnen Quellen entstammen also ganz bestimmten Grundwasserströmen. Trotzdem die Quellen in so naher Nachbarschaft nebeneinander entspringen, besitzen sie also getrennte Zuzugsgebiete; und die Lage dieser Zuzugsgebiete fällt, wie die Färbeversuche erkennen ließen, mit jenen Zerklüftungszonen zusammen [1]).

In den Verhältnissen auf der Paderborner Hochfläche erblicken wir das beste Beispiel für die von uns zuvor gegebene Erklärung der Entstehungsweise von Höhlenflüssen aus Grundwasserströmen. Wir hatten dargetan, daß das Grundwasser bei seiner Strömung vom Innern des Gebirges zu den Quellen hin sich der Wege bedient, auf welchen es den geringsten Widerstand findet. Das Grundwasser bewegt sich daher in erster Linie in den Zerklüftungszonen. Letztere sind ja auch, wie sowohl die Beobachtung als auch das Experiment gezeigt haben, häufige Erscheinungen. Im Pader Ursprungsgebiet sehen wir nun die Zerklüftungszonen in unmittelbarem Zusammenhang mit Grundwasserströmen. Wenn nun solche Verhältnisse, wie sie uns in der Paderborner Hochfläche entgegentreten, in einem höhlenführenden Karstgesteine auftreten [2]), dann würde auch der letzte Schritt zur Entstehung eines Höhlenflusses, die Erweiterung des Grundwasserstrombettes in ein tunnelförmig gestaltetes Höhlenflußbett durch die Korrosion erfolgen können.

---

[1]) Die Untersuchungen von Dr. H. Stille im Padergebiet sind in der oben zitierten Arbeit eingehend niedergelegt; auf diese sei verwiesen, da wir uns hier nur sehr kurz fassen können, so daß die auch in so mancher anderen Hinsicht interessanten Verhältnisse daselbst nicht mit hinreichender Genauigkeit wiedergegeben werden können.

[2]) Der petrographische Charakter der Plänerkalke ist der Höhlenbildung nicht günstig, da zu viel mergelige Einlagerungen vorhanden sind. Nur reine Kalke und Dolomite sind als echte höhlenführende Karstgesteine anzusehen, wenn auch zuweilen in Kalkmergeln Höhlen vorkommen.

Als erste Vorbedingung zu der hier angegebenen Theorie zur Entstehung von Höhlenflüssen ist also das Vorhandensein einer Quelle angenommen. Denn das Ausströmen des Wassers aus den Quellen ist es ja, was dem Grundwasser die Bewegung erteilt. Dieses Ausströmen ist eine Folge der Schwerkraft, welche das Wasser zwingt, die tiefste Lage einzunehmen. Je größer der Druck ist, welchen das Grundwasser ausübt, mit um so größerer Gewalt wird das Quellwasser hervorbrechen. Die heftige Bewegung aber, unter welcher das Wasser den Quellöffnungen entströmt, muß eine weitere Wirkung ausüben: eine Saugwirkung.

Wir haben die saugende Kraft von Quellen bereits in dem Abschnitte über Meeresschwinden kennen gelernt. Dieselbe Kraft ist unseres Erachtens auch bei der Entstehung von Höhlenflüssen tätig. Ihr zufolge werden von den bereits vorhandenen Quellströmen andere Teile des Grundwassers herbeigesogen; diese Wasseradern üben ihrerseits wieder eine Saugwirkung aus — und so fort. Namentlich wird die Saugwirkung dann eine hohe Bedeutung erlangen können, wenn, wie dies sehr häufig der Fall ist, in den Spaltenhöhlungen größere Wasserfälle vorkommen; denn solche wirken tatsächlich analog der Wasserluftpumpe Bunsens. Dadurch, daß die Saugwirkung sich immer weiter rückwärts fortpflanzt, gelangt sie schließlich oftmals in den Bereich irgend eines oberirdisch fließenden Wassers. Dieses wird nun auf den anfänglich engen Spalten in das Gestein eindringen. Dadurch, daß immer neues Wasser in diese Spalten eindringt, werden sie durch Korrosion schnell erweitert, infolge davon wird auch eine ständig im Wachsen begriffene Wassermenge dem Fluß entzogen. So veranlaßt eine Quellströmung vermöge ihrer Saugkraft die Entstehung von Flußponoren. Sobald dieser Vorgang einmal eingesetzt hat, so wird er ununterbrochen seinen Fortgang nehmen und die von der Quellströmung herbeigesogenen Flußwasser werden immer weiter ihre Lösungskraft entfalten; viele der engen Spalten werden dabei in größere Tunnelhöhlen verwandelt, bis schließlich ein großes Höhlenflußbett entsteht. Die Bildung eines Höhlenflusses geht also durch **rückwärtsschreitende Korrosion** von einer Quelle aus vor sich.

Die hier gegebene Erklärung für die Entstehung von Höhlenflüssen läßt sich naturgemäß niemals streng beweisen; sie besitzt aber einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit.

Die Frage nach der Entstehung der Höhlenflüsse ist niemals eingehend diskutiert worden. Es ist von den meisten Autoren behauptet worden, daß die Erosion die Höhlen geschaffen hätte. Daß dies aber nicht möglich ist, darauf haben wir bereits früher hingewiesen. Denn die Erosion — also die mechanische Kraft des fließenden Wassers — setzt voraus, daß Wasser überhaupt fließt, und dieses wiederum, daß ein Flußbett vorhanden ist. Mithin kann die Erosion die Flußhöhlen unmöglich gebildet haben; sie vermag nur eine vorhandene Höhle umzugestalten.

Eine andere allgemein verbreitete, gleichwohl aber irrige Meinung ist ferner die, daß die zwischen Ponoren und Vauclusequellen befindlichen Flußhöhlen sich von ersteren aus gebildet hätten. Dies ist ebenfalls nicht möglich; denn wenn das Wasser von den Ponoren aus auch in das Gebirge einzudringen vermag, so werden doch die engen Spalten bald gefüllt sein und ein Stillstand wird in der Bewegung eintreten, welcher einen Rückstau des Wassers zur Folge hat. Das Gebirge wird sich hierbei wie ein Schwamm voll Wasser saugen, aber keineswegs kann der von den nur unbedeutenden Karstflüssen oberhalb der Ponore ausgeübte Druck es zustande bringen, daß der gewaltige, oft viele Kilometer breite Gebirgswall, welcher Ponore und Vauclusequellen trennt, einem allzu schwachen Damme gleich durchbrochen werde. Die Durchsickerung des von den Ponoren verschlungenen Wassers zu den Vauclusequellen kann unseres Erachtens nur dann stattfinden, wenn von letzteren aus gleichzeitig eine Kraft ausgeht, welche das Wasser herbeizieht. Und diese Kraft haben wir in der Saugkraft der Quellen kennen gelernt.

Man wird allerdings den Einwand erheben können, daß eine saugende Kraft nur in einem System von vollkommen geschlossenen Röhren denkbar ist. Nun sind aber die Wasserspalten der Karstgebirge nicht vollkommen geschlossen; vielmehr kommunizieren sie mit der Oberfläche. Wie aber die Existenz der Meeresschwinden lehrt, können auch die Karstwasser oftmals, namentlich infolge ihrer Stromschnellen, Saugwirkungen ausüben. Ganz abgesehen hiervon sind aber die Höhlenflüsse schon alt; sie haben sich zu einer Zeit gebildet, wo die Verkarstung noch nicht den hohen Grad erreicht hatte, wie gegenwärtig. Ehedem kann also viel eher eine Saugwirkung in geschlossenen oder nahezu geschlossenen Spaltenröhren stattgefunden haben.

Eine Kommunikation mit der Außenluft in den Wasserspalten beeinträchtigt allerdings in hohem Maße die Saugwirkung; aber nicht immer wird sie hierdurch völlig aufgehoben. Hierzu kommt, daß die Saugkraft keineswegs Außergewöhnliches leisten muß. Durch sie wird nur der Reibungswiderstand überwunden, welcher verhindern würde, daß auf den engen Spalten das in die Tiefe sickernde Wasser weiterfließt.

Vermöge der Zerklüftungsverhältnisse wird durch die Saugkraft das Wasser in bestimmte Bahnen geleitet; und in diesen folgt es durchaus der Schwerkraft. Wenn jene Grundwasserstrombetten und Höhlenflüsse bereits vorhanden gewesen wären, dann bedürften wir keineswegs der Saugkraft der Quellen, um die Entstehung von Höhlenflüssen zu erklären. Aber diese haben sich doch erst im Laufe langer Zeiten durch die Korrosion des fließenden Wassers gebildet; die strömende Bewegung des Wassers wurde unseres Erachtens erst durch die Saugwirkung der Quellströme eingeleitet und dadurch die Korrosion ermöglicht. Jetzt aber, nachdem die Verkarstung in hohem Maße angewachsen ist — jetzt ist die Saugkraft nicht mehr denkbar; der Vorgang aber, den sie eingeleitet, ist nun im Gang — jedoch folgt er einer anderen Kraft, der Schwerkraft.

Wir wollen die hier gegebene Theorie der Entstehung von Höhlenflüssen durch die saugende Kraft der Quellströmungen an dem Beispiel der schon so oft genannten unterirdischen Verbindung zwischen Donau und Rhein (Aach) erläutern. Wir wissen, daß bei Immendingen etwa 4000 Sekundenliter Donauwasser versinken, welche in einer Entfernung von 13 km als Aach wieder aus dem Gebirge hervortreten. Die Aachquelle enthält zwar, wie bekannt (vgl. S. 60) das gesamte Donauwasser, keineswegs aber nur Donauwasser. Von den 7000 Sekundenlitern, welche der Aach durchschnittlich entströmen, kommen 3000 Sekundenliter auf einen eigenen Quellstrom. Dieser an und für sich schon gewaltig große Quellstrom hat unseres Erachtens die Saugwirkung ausgeübt, derzufolge die Donauwasser die engen Spalten benutzend in die Tiefe gerissen wurden. Durch die Korrosion sind dann die Spalten hinreichend erweitert worden, so daß der Höhlenfluß sich gebildet hat.

Zusammenfassung: Wir fassen die Ergebnisse unserer Studien über die Entstehung von Höhlenflüssen kurz wie

folgt zusammen. Eine Quelle übt vermöge ihrer oft sehr heftigen Strömung eine Saugwirkung aus; die Saugkraft des **Quellstromes** wirkt zunächst auf die ihm benachbarten Grundwassermengen. In diesen pflanzt sie sich fort. In den Zonen, in welchen die Zerklüftung am stärksten ist, in den Zerklüftungszonen, fließt das Grundwasser zum Quellstrom hin, es wird zum **Grundwasserstrom**, und dieser durch seine höhlenbildende Tätigkeit endlich zum **Höhlenfluß.** Der Höhlenfluß bewegt sich dann nicht mehr infolge der Saugkraft der Quellströme, sondern er fließt durch die Schwerkraft. Die Saugkraft aber, die eine Quelle oder ein Höhlenfluß auszuüben vermag, hört mit zunehmender Verkarstung auf.

Vierzehntes Kapitel.

Dolinen.

Definition. — Erklärungsversuche. — Morphologie. — Schüsselförmige Dolinen. — Trichterförmige Dolinen. — Brunnenförmige Dolinen. — Genetische Einteilung. — Einsturzdolinen. — Einsturzbeben. — Subaërisch gebildete Dolinen. — Nomenklatur. — Verteilung der Dolinen.

Als Dolinen werden allgemein die trichterförmigen Einsenkungen von kreisförmiger bis elliptischer Gestalt bezeichnet, welche in Karstgebieten oft in solch großer Anzahl geschart vorkommen, daß sie der Erdoberfläche ein gleichsam „blattersteppiges“ Antlitz verleihen. Das Wort Doline stammt aus dem Südslawischen, in diesen Sprachen bedeutet „Dolina“ so viel wie Tal. Wenn nun auch die Dolinen mit dem, was wir Tal zu nennen pflegen, wenig gemein haben, so hat dennoch das Wort Doline in die Reihe der wissenschaftlichen Fachausdrücke Eingang gefunden, zumal auch in den südslawischen Karstländern nicht allein die echten Täler — deren es nur wenige gibt —, sondern auch die „Karsttrichter“ diese Bezeichnung führen.

Unter der gemeinsamen Bezeichnung Doline fassen wir eine große Gruppe von Karstgebilden zusammen,

welche zwar verschiedener Entstehung sind, jedoch alle das eine gemeinsam haben, nämlich daß sie rundum geschlossene Einsenkungen in die Erdoberfläche darstellen.

Über die Dolinen, ihre Verbreitung, Form und Entstehung ist eine große Literatur vorhanden. Teils hat man ihre Entstehung auf Einstürze von Höhlenräumen zurückgeführt, teils glaubte man sie als Erweiterung von Spalten ansehen zu müssen; wieder andere haben versucht, die Entstehung der Dolinen durch die oberirdische Verwitterung zu erklären. Wie in den meisten derartigen Fällen, wo verschiedene Ansichten über einen Gegenstand sich herausgebildet haben — alle auf Beobachtungen gestützt —, so besitzt auch hier jede der Theorien ihre Berechtigung. Indessen kann keine derselben als die alleingültige angesehen werden.

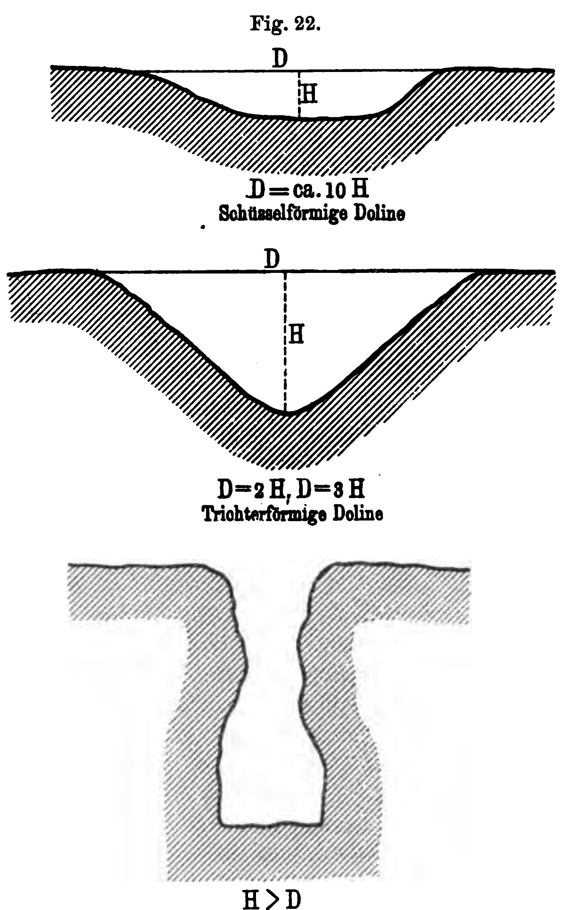
Von der Ansicht ausgehend, daß allein möglichst genaue Beobachtung der Doline in der Natur die Lösung des Problemes der Dolinenbildung ermöglichen könne, hat in neuerer Zeit Professor Cvijič aus Belgrad den Versuch gemacht, die Dolinen einzelner Gebiete kartographisch aufzunehmen und durch Vermessung ihre Dimensionen festzustellen. Diese genauen Messungen besitzen natürlich in erster Linie nur rein geomorphologischen Wert. Sie haben aber eine an sich zwar nicht neue Einteilung der Dolinen bestätigt, welche wir mit den gleichen Bezeichnungen wiedergeben, deren sich Cvijič bedient hat; es unterscheiden sich:

1. schüsselförmige Dolinen,
2. trichterförmige Dolinen,
3. brunnenförmige Dolinen.

Die schüsselförmigen Dolinen sind weite, ganz flache Einsenkungen von bedeutendem Umfang, aber meist nur geringer Tiefe. 10 bis 120 m beträgt der Durchmesser jener Senken bei einer nur geringen Tiefe von 2 bis 20 m. Die Beobachtungen von Cvijič haben gezeigt, daß das Verhältnis zwischen den Durchmessern der Senke (d) und der Tiefe (h) meistens etwa in dem Verhältnis $d = 10\,h$ steht. Da der Böschungswinkel bei dieser Art von Dolinen nur ein sehr geringer sein kann (höchstens etwa 10 bis 12^0), so heben sich die Dolinen von Schüsselgestalt nur sehr schwach von der immer etwas welligen Umgebung ab; es ist daher auch oft recht schwer, die Gestalt der Senke zu ermitteln, so daß es stets der Willkür des einzelnen überlassen

bleibt, wohin der Rand der Einsenkung zu verlegen ist. Das Verhältnis $d = 10h$ ist somit, wie auch Cvijič sagt, nur ein ungefähr zutreffendes.

Fig. 22.



Schematische Darstellung der drei Dolinenformen.

Im Gegensatz zu den schüsselförmigen heben sich die trichterförmigen Dolinen scharf von der Oberfläche ab. Die Böschung der Dolinenwände erreicht einen Winkel bis zu 45° und

die Tiefe ist im Verhältnis zum Durchmesser weit größer als bei den erstgenannten schüsselförmigen Dolinen; $d = 2h$, $d = 3h$ sind die gewöhnlichen Beziehungen zwischen Durchmesser und Höhe. Die Dolinen von Trichtergestalt sollen nach Cvijič viel seltener sein als die von Schüsselgestalt. Diese Beobachtung ist neu, aber sie wird jedenfalls mit den Tatsachen übereinstimmen. Da die Dolinen von schüsselförmiger Gestalt bei weitem weniger in die Augen fallend sind, als die merkwürdigen tiefen Trichterdolinen, sind die meisten der ersteren den Beobachtungen des Reisenden entgangen und es wurde in der Literatur im allgemeinen zumeist nur der tieferen „Karsttrichter" gedacht.

In den Karstgebieten Deutschlands, namentlich im Fränkischen Jura, sind diese beiden Formen von Dolinen sehr verbreitet.

Die dritte Gruppe der brunnenförmigen Dolinen — auch Schlote genannt — ist die seltenste. Von Cvijič werden sie wie folgt eingeteilt:

a) Die „Avens", das sind Schlote, welche schachtförmig in die Tiefe gehen und dort blind enden oder aber auf kleine sackartige Höhlen führen;

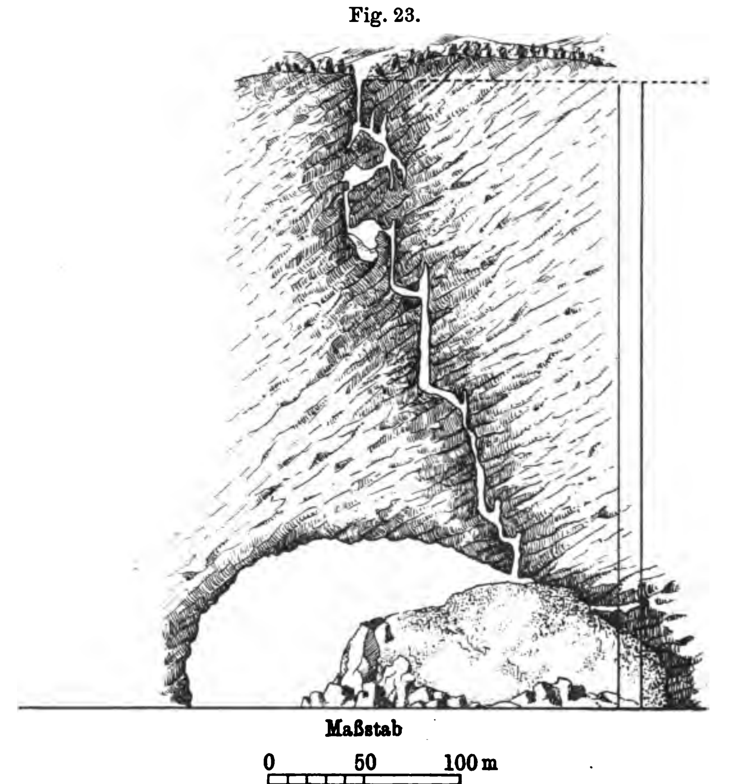
b) in Schächte, welche auf größere Höhlen oder Höhlenflüsse münden. Ist die Verbindung dieser „Naturschlote" mit der Höhle eine direkte, so daß Tageslicht durch sie fällt, so haben wir den Typus der „Light-holes". Das französische Wort „abîme" und die slawischen Benennungen „Jama" oder „Luknja" bezeichnen ebenfalls jene Gebilde. Wenn die brunnenförmigen Dolinen sich in engen Spalten verlieren, welche ihrerseits wieder mit Höhlengängen in Verbindung stehen, so unterscheidet Cvijič einen weiteren Typus der brunnenförmigen Doline.

Unsere Abbildung (Fig. 22) zeigt im Profil die drei Formen der Dolinen; die dritte, brunnenförmige Doline ist gleichzeitig das schematische Bild eines „Avens". Die folgende Abbildung (Fig. 23) stellt das Profil durch den von uns schon wiederholt erwähnten Trebičschacht dar, einer Doline, welche durch zahlreiche enge Spalten in verschiedene Höhlenräume führt, an deren Basis von dem Erforscher jener Höhle, Lindner, bekanntlich die Wasser der Reka aufgefunden wurden. Die Lindnerhöhle bei Trebič ist der beste Vertreter jenes zuletzt genannten Typus brunnenförmiger Dolinen.

Diese von Cvijič hervorgehobenen morphologischen Unterschiede der Dolinen sind indessen keineswegs auch auf genetische Verschiedenheiten zurückzuführen. Dies geht aus folgender Erwägung hervor.

Denken wir uns beispielsweise eine Doline von brunnenförmiger Gestalt. Eine solche kann durch das eingeschwemmte

Fig. 23.



Maßstab

0 50 100 m

Profil durch die „Lindnerhöhle“ bei Trebič.

bzw. von den Wandungen des „Naturschachtes“ abgebröckelte Material angefüllt werden. Dann verliert die Doline ihre brunnenförmige Gestalt und wir haben nur noch eine Doline, welche in die zweite Gruppe der trichterförmigen Dolinen zählt. Und wenn nun eine Doline von Trichtergestalt durch eingeschwemmtes Ge-

stein immer mehr angefüllt wird, dann kann diese Doline in eine vom ersten Typus, nämlich von schüsselförmiger Gestalt, übergehen. Diese Klassifikation der Dolinen von Cvijič ist somit nur eine morphologische, nicht aber zugleich eine genetische.

Eine weitere und zwar sehr häufige Dolinenform findet bei dieser Einteilung bedauerlicherweise überhaupt keine Berücksichtigung: das sind diejenigen Dolinen, welche eine geringe Tiefe besitzen, die aber von nahezu senkrechten Felswänden eingerahmt werden. Unsere Abbildung (Fig. 24) stellt beispielsweise eine von diesen dar. Solche Dolinen müßten wir ihrer vertikalen Wandungen wegen zu den brunnenförmigen stellen; indessen ist das Verhältnis zwischen Durchmesser und Tiefe ein anderes, als es bei brunnenförmigen Dolinen der Fall sein müßte. Denn wir haben gesehen, daß bei den letzteren stets $d < h$ ist, d. h. der Durchmesser geringer ist als die Tiefe. Bezüglich dieser Gruppe von Dolinen ist es also zweifelhaft, welcher morphologischen Gruppe sie angehören.

Diese nach rein morphologischen Merkmalen gemachte Einteilung der Dolinen kann den Geologen somit kaum befriedigen, da die ungleich wichtigeren genetischen Verschiedenheiten durch sie nicht berücksichtigt sind. Zudem sind, wie wir sahen, auch die morphologischen Unterschiede oft nur unscharf, da alle Übergänge zwischen ihnen vorkommen. Für uns sollen daher, ebenso wie bei der Klassifikation der Höhlen, nur genetische Gesichtspunkte maßgebend sein; daher bedienen wir uns folgender Einteilung:

I. Dolinen, welche dem Wasser nur **mittelbar** ihre Entstehung verdanken, indem die vom Wasser in der Tiefe gebildeten Höhlen derart in die Breite wachsen, daß sie zusammenbrechen; die dadurch entstandenen Dolinen werden **Einsturzdolinen** genannt. Die Formen der Einsturzdolinen sind sehr verschieden; solche von Trichterform sind wohl die häufigsten.

II. Dolinen, welche **unmittelbar** vom Wasser gebildet sind, indem entweder das Wasser auf größeren Spalten vertikal in die Tiefe drang und dabei diese zu Dolinen erweiterte, oder indem es auf zahlreichen kleinen Rissen versickerte und die gelöste Gesteinsmasse von der Oberfläche in die Tiefe führte. In ersterem Falle entstanden brunnenförmige Dolinen, in letzterem mehr trichter- oder schüsselförmige.

Die Dolinen dieser zweiten Gruppe sind also Produkte der oberirdischen, subaërischen Abtragung, wäh-

Fig. 24.



Karstlandschaft mit einer Doline aus dem Adelsberger Karst.

rend die der ersten Gruppe die der unterirdischen, subterrestrischen Abtragung eines Karstgebirges sind.

Die Einsturzdolinen. Von der allgemein bekannten großen Verbreitung der Höhlen in Karstgesteinen ausgehend, glaubte man schon seit alten Zeiten die Dolinen als Zeugen einstmals vorhandener, nun aber eingestürzter Höhlen ansehen zu dürfen. Man ist aber mit dieser Ansicht zu weit gegangen, indem man alle Dolinen als durch Einsturz entstanden zu deuten versuchte. Nun hat die Beobachtung aber gelehrt, daß dies in vielen Fällen unzutreffend ist und daß auch die oberirdische Abtragung sehr wohl dolinenbildend wirken kann. Namentlich ist es das Verdienst von J. Cvijič gewesen, nachzuweisen, wie durch subaërische Abtragung Dolinen entstehen können. Seitdem herrscht nun wieder umgekehrt die Neigung, das gesamte Dolinenphänomen auf die oberirdische Abtragung zurückzuführen.

Demgegenüber müssen wir aber unbedingt daran festhalten, daß sich sehr oft auch durch Einsturz von Höhlen Dolinen gebildet haben. In Gips- und Salzgebirgen ist diese Art der Dolinenbildung eine ganz allgemein verbreitete Erscheinung; aber auch in Kalk- und Dolomitgebirgen entstehen solche Einbrüche. In historischer Zeit haben sich beispielsweise sowohl im Schwäbischen als auch im Fränkischen Jura eine Reihe von Dolinen durch plötzliche Einstürze gebildet. Diese Dolinen sind somit nur auf Höhlen zurückzuführen, welche einst hier vorhanden waren.

Derartige Zusammenbrüche von Hohlräumen gehen naturgemäß nicht ohne eine gleichzeitige beträchtliche Erderschütterung vor sich; es ist der Einbruch stets mit einem, wenn auch nur kleinen Erdbeben — einem sogenannten Einsturzbeben — verbunden [1]). Die große Anzahl der Erderschütterungen, welche in einem jeden Karstgebirge vorkommen, lassen darauf schließen, daß der Vorgang der Dolinenbildung durch Einstürze von Höhlen keineswegs ein seltenes Phänomen ist. Diese Einbrüche können allerdings nicht verfolgt werden, — es sei denn, daß ein Mensch zufällig Augenzeuge eines solchen nie vorauszusehenden Einsturzes ist. Dennoch ist aber ein Höhleneinsturz keineswegs ein völlig

[1]) In gleicher Weise rufen auch Einstürze verlassener Bergwerke oftmals beträchtliche „Einsturzbeben" hervor; auch hierbei entstehen oft dolinenartige Gebilde. In den von Bergbau berührten Gebieten Schlesiens und des Harzes hat man beispielsweise oft Gelegenheit, dies zu beobachten.

unvorbereitetes Ereignis; denn in den Höhlen brechen stets im Laufe der Zeit neue Blöcke von der Decke herunter. Die Trümmermassen am Boden der Höhlen legen Zeugnis von diesen Deckenstürzen ab. Hierdurch wird das Höhlendach ständig aufwärts verlegt; es rückt immer näher an die Oberfläche heran, bis schließlich die Höhle eingestürzt und an der Oberfläche eine Doline vorhanden ist. Nur dieser letzte Einsturz ist ein plötzliches Ereignis, wenn es auch seit langer Zeit vorbereitet gewesen ist.

Fig. 25.

Profil durch die Esper-Höhle (fränk. Schweiz). (nach A. Neischl und J. Reger.)

Unsere Abbildung (Fig. 25) zeigt das Profil durch einen Teil der Esperhöhle, welche durch die Aufnahmen von A. Neischl und J. Reger neuerdings trefflich vermessen wurde. Dies Profil schneidet eine offene Doline von brunnenförmiger Gestalt, welche durch einen seitlichen Höhlengang in eine Höhle führt. Die Höhle aber macht ebenfalls einen durchaus schachtartigen Eindruck; nur ist dieser Schacht nach oben abgeschlossen. Indessen besitzt die Gesteinsmasse, welche die Höhle von der Oberfläche

welche zwar verschiedener Entstehung sind, jedoch alle das eine gemeinsam haben, nämlich daß sie rundum geschlossene Einsenkungen in die Erdoberfläche darstellen.

Über die Dolinen, ihre Verbreitung, Form und Entstehung ist eine große Literatur vorhanden. Teils hat man ihre Entstehung auf Einstürze von Höhlenräumen zurückgeführt, teils glaubte man sie als Erweiterung von Spalten ansehen zu müssen; wieder andere haben versucht, die Entstehung der Dolinen durch die oberirdische Verwitterung zu erklären. Wie in den meisten derartigen Fällen, wo verschiedene Ansichten über einen Gegenstand sich herausgebildet haben — alle auf Beobachtungen gestützt —, so besitzt auch hier jede der Theorien ihre Berechtigung. Indessen kann keine derselben als die alleingültige angesehen werden.

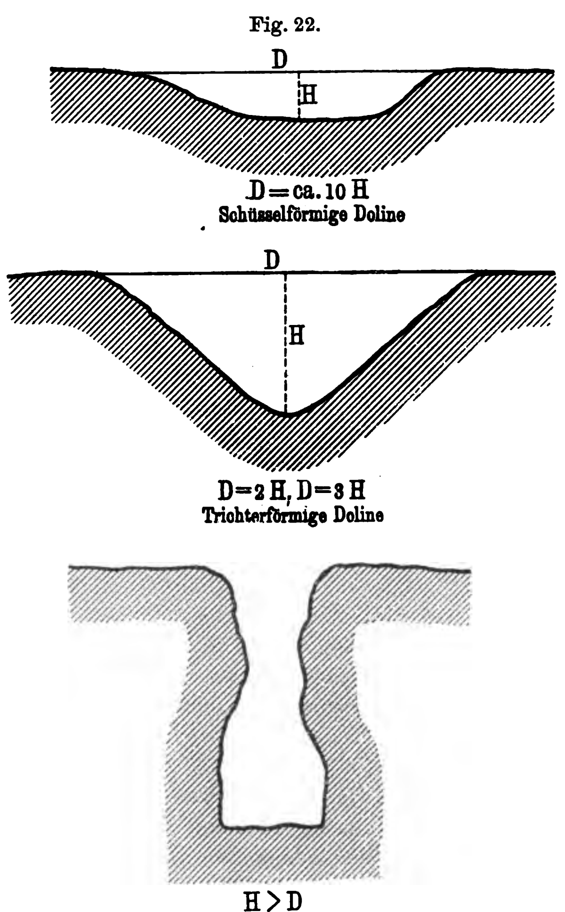
Von der Ansicht ausgehend, daß allein möglichst genaue Beobachtung der Doline in der Natur die Lösung des Problemes der Dolinenbildung ermöglichen könne, hat in neuerer Zeit Professor Cvijič aus Belgrad den Versuch gemacht, die Dolinen einzelner Gebiete kartographisch aufzunehmen und durch Vermessung ihre Dimensionen festzustellen. Diese genauen Messungen besitzen natürlich in erster Linie nur rein geomorphologischen Wert. Sie haben aber eine an sich zwar nicht neue Einteilung der Dolinen bestätigt, welche wir mit den gleichen Bezeichnungen wiedergeben, deren sich Cvijič bedient hat; es unterscheiden sich:

1. schüsselförmige Dolinen,
2. trichterförmige Dolinen,
3. brunnenförmige Dolinen.

Die schüsselförmigen Dolinen sind weite, ganz flache Einsenkungen von bedeutendem Umfang, aber meist nur geringer Tiefe. 10 bis 120 m beträgt der Durchmesser jener Senken bei einer nur geringen Tiefe von 2 bis 20 m. Die Beobachtungen von Cvijič haben gezeigt, daß das Verhältnis zwischen den Durchmessern der Senke (d) und der Tiefe (h) meistens etwa in dem Verhältnis $d = 10\,h$ steht. Da der Böschungswinkel bei dieser Art von Dolinen nur ein sehr geringer sein kann (höchstens etwa 10 bis 12°), so heben sich die Dolinen von Schüsselgestalt nur sehr schwach von der immer etwas welligen Umgebung ab; es ist daher auch oft recht schwer, die Gestalt der Senke zu ermitteln, so daß es stets der Willkür des einzelnen überlassen

bleibt, wohin der Rand der Einsenkung zu verlegen ist. Das Verhältnis $d = 10h$ ist somit, wie auch Cvijič sagt, nur ein ungefähr zutreffendes.

Fig. 22.



Schematische Darstellung der drei Dolinenformen.

Im Gegensatz zu den schüsselförmigen heben sich die trichterförmigen Dolinen scharf von der Oberfläche ab. Die Böschung der Dolinenwände erreicht einen Winkel bis zu 45° und

die Tiefe ist im Verhältnis zum Durchmesser weit größer als bei den erstgenannten schüsselförmigen Dolinen; $d = 2h$, $d = 3h$ sind die gewöhnlichen Beziehungen zwischen Durchmesser und Höhe. Die Dolinen von Trichtergestalt sollen nach Cvijič viel seltener sein als die von Schüsselgestalt. Diese Beobachtung ist neu, aber sie wird jedenfalls mit den Tatsachen übereinstimmen. Da die Dolinen von schüsselförmiger Gestalt bei weitem weniger in die Augen fallend sind, als die merkwürdigen tiefen Trichterdolinen, sind die meisten der ersteren den Beobachtungen des Reisenden entgangen und es wurde in der Literatur im allgemeinen zumeist nur der tieferen „Karsttrichter“ gedacht.

In den Karstgebieten Deutschlands, namentlich im Fränkischen Jura, sind diese beiden Formen von Dolinen sehr verbreitet.

Die dritte Gruppe der brunnenförmigen Dolinen — auch Schlote genannt — ist die seltenste. Von Cvijič werden sie wie folgt eingeteilt:

a) Die „Avens“, das sind Schlote, welche schachtförmig in die Tiefe gehen und dort blind enden oder aber auf kleine sackartige Höhlen führen;

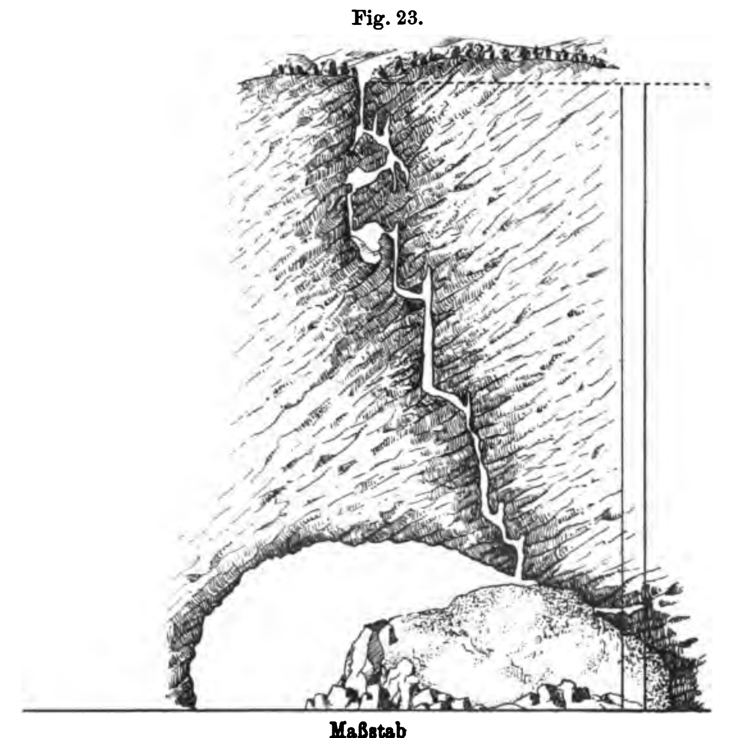
b) in Schächte, welche auf größere Höhlen oder Höhlenflüsse münden. Ist die Verbindung dieser „Naturschlote“ mit der Höhle eine direkte, so daß Tageslicht durch sie fällt, so haben wir den Typus der „Light-holes“. Das französische Wort „abîme“ und die slawischen Benennungen „Jama“ oder „Luknja“ bezeichnen ebenfalls jene Gebilde. Wenn die brunnenförmigen Dolinen sich in engen Spalten verlieren, welche ihrerseits wieder mit Höhlengängen in Verbindung stehen, so unterscheidet Cvijič einen weiteren Typus der brunnenförmigen Doline.

Unsere Abbildung (Fig. 22) zeigt im Profil die drei Formen der Dolinen; die dritte, brunnenförmige Doline ist gleichzeitig das schematische Bild eines „Avens“. Die folgende Abbildung (Fig. 23) stellt das Profil durch den von uns schon wiederholt erwähnten Trebičschacht dar, einer Doline, welche durch zahlreiche enge Spalten in verschiedene Höhlenräume führt, an deren Basis von dem Erforscher jener Höhle, Lindner, bekanntlich die Wasser der Reka aufgefunden wurden. Die Lindnerhöhle bei Trebič ist der beste Vertreter jenes zuletzt genannten Typus brunnenförmiger Dolinen.

Diese von Cvijič hervorgehobenen morphologischen Unterschiede der Dolinen sind indessen keineswegs auch auf genetische Verschiedenheiten zurückzuführen. Dies geht aus folgender Erwägung hervor.

Denken wir uns beispielsweise eine Doline von brunnenförmiger Gestalt. Eine solche kann durch das eingeschwemmte

Fig. 23.



Profil durch die „Lindnerhöhle" bei Trebič.

bzw. von den Wandungen des „Naturschachtes" abgebröckelte Material angefüllt werden. Dann verliert die Doline ihre brunnenförmige Gestalt und wir haben nur noch eine Doline, welche in die zweite Gruppe der trichterförmigen Dolinen zählt. Und wenn nun eine Doline von Trichtergestalt durch eingeschwemmtes Ge-

stein immer mehr angefüllt wird, dann kann diese Doline in eine vom ersten Typus, nämlich von schüsselförmiger Gestalt, übergehen. Diese Klassifikation der Dolinen von Cvijič ist somit nur eine morphologische, nicht aber zugleich eine genetische.

Eine weitere und zwar sehr häufige Dolinenform findet bei dieser Einteilung bedauerlicherweise überhaupt keine Berücksichtigung: das sind diejenigen Dolinen, welche eine geringe Tiefe besitzen, die aber von nahezu senkrechten Felswänden eingerahmt werden. Unsere Abbildung (Fig. 24) stellt beispielsweise eine von diesen dar. Solche Dolinen müßten wir ihrer vertikalen Wandungen wegen zu den brunnenförmigen stellen; indessen ist das Verhältnis zwischen Durchmesser und Tiefe ein anderes, als es bei brunnenförmigen Dolinen der Fall sein müßte. Denn wir haben gesehen, daß bei den letzteren stets $d < h$ ist, d. h. der Durchmesser geringer ist als die Tiefe. Bezüglich dieser Gruppe von Dolinen ist es also zweifelhaft, welcher morphologischen Gruppe sie angehören.

Diese nach rein morphologischen Merkmalen gemachte Einteilung der Dolinen kann den Geologen somit kaum befriedigen, da die ungleich wichtigeren genetischen Verschiedenheiten durch sie nicht berücksichtigt sind. Zudem sind, wie wir sahen, auch die morphologischen Unterschiede oft nur unscharf, da alle Übergänge zwischen ihnen vorkommen. Für uns sollen daher, ebenso wie bei der Klassifikation der Höhlen, nur genetische Gesichtspunkte maßgebend sein; daher bedienen wir uns folgender Einteilung:

I. Dolinen, welche dem Wasser nur **mittelbar** ihre Entstehung verdanken, indem die vom Wasser in der Tiefe gebildeten Höhlen derart in die Breite wachsen, daß sie zusammenbrechen; die dadurch entstandenen Dolinen werden **Einsturzdolinen** genannt. Die Formen der Einsturzdolinen sind sehr verschieden; solche von Trichterform sind wohl die häufigsten.

II. Dolinen, welche **unmittelbar** vom Wasser gebildet sind, indem entweder das Wasser auf größeren Spalten vertikal in die Tiefe drang und dabei diese zu Dolinen erweiterte, oder indem es auf zahlreichen kleinen Rissen versickerte und die gelöste Gesteinsmasse von der Oberfläche in die Tiefe führte. In ersterem Falle entstanden brunnenförmige Dolinen, in letzterem mehr trichter- oder schüsselförmige.

Die Dolinen dieser zweiten Gruppe sind also Produkte der oberirdischen, subaërischen Abtragung, wäh-



Fig. 24.

Karstlandschaft mit einer Doline aus dem Adelsberger Karst.

rend die der ersten Gruppe die der unterirdischen, subterrestrischen Abtragung eines Karstgebirges sind.

Die Einsturzdolinen. Von der allgemein bekannten großen Verbreitung der Höhlen in Karstgesteinen ausgehend, glaubte man schon seit alten Zeiten die Dolinen als Zeugen einstmals vorhandener, nun aber eingestürzter Höhlen ansehen zu dürfen. Man ist aber mit dieser Ansicht zu weit gegangen, indem man alle Dolinen als durch Einsturz entstanden zu deuten versuchte. Nun hat die Beobachtung aber gelehrt, daß dies in vielen Fällen unzutreffend ist und daß auch die oberirdische Abtragung sehr wohl dolinenbildend wirken kann. Namentlich ist es das Verdienst von J. Cvijič gewesen, nachzuweisen, wie durch subaërische Abtragung Dolinen entstehen können. Seitdem herrscht nun wieder umgekehrt die Neigung, das gesamte Dolinenphänomen auf die oberirdische Abtragung zurückzuführen.

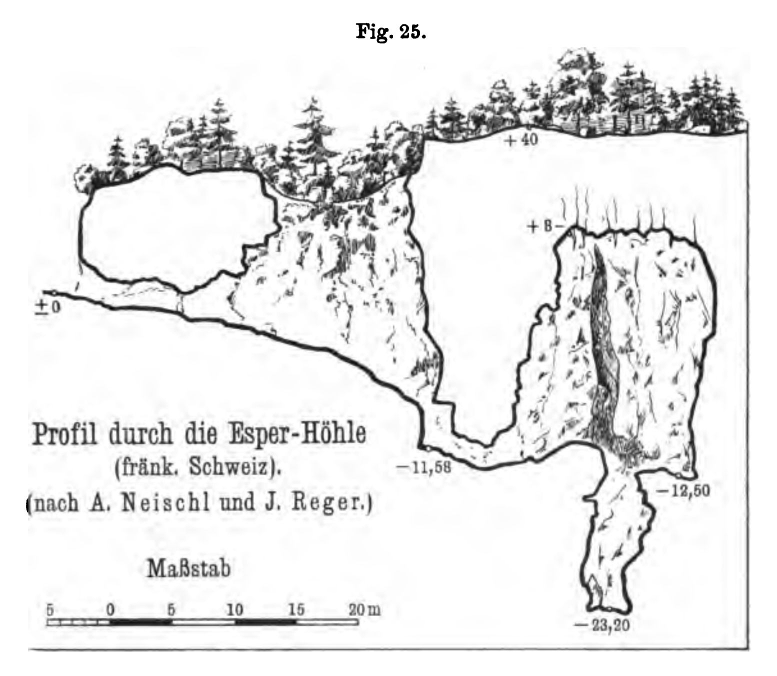
Demgegenüber müssen wir aber unbedingt daran festhalten, daß sich sehr oft auch durch Einsturz von Höhlen Dolinen gebildet haben. In Gips- und Salzgebirgen ist diese Art der Dolinenbildung eine ganz allgemein verbreitete Erscheinung; aber auch in Kalk- und Dolomitgebirgen entstehen solche Einbrüche. In historischer Zeit haben sich beispielsweise sowohl im Schwäbischen als auch im Fränkischen Jura eine Reihe von Dolinen durch plötzliche Einstürze gebildet. Diese Dolinen sind somit nur auf Höhlen zurückzuführen, welche einst hier vorhanden waren.

Derartige Zusammenbrüche von Hohlräumen gehen naturgemäß nicht ohne eine gleichzeitige beträchtliche Erderschütterung vor sich; es ist der Einbruch stets mit einem, wenn auch nur kleinen Erdbeben — einem sogenannten Einsturzbeben — verbunden [1]). Die große Anzahl der Erderschütterungen, welche in einem jeden Karstgebirge vorkommen, lassen darauf schließen, daß der Vorgang der Dolinenbildung durch Einstürze von Höhlen keineswegs ein seltenes Phänomen ist. Diese Einbrüche können allerdings nicht verfolgt werden, — es sei denn, daß ein Mensch zufällig Augenzeuge eines solchen nie vorauszusehenden Einsturzes ist. Dennoch ist aber ein Höhleneinsturz keineswegs ein völlig

[1]) In gleicher Weise rufen auch Einstürze verlassener Bergwerke oftmals beträchtliche „Einsturzbeben" hervor; auch hierbei entstehen oft dolinenartige Gebilde. In den von Bergbau berührten Gebieten Schlesiens und des Harzes hat man beispielsweise oft Gelegenheit, dies zu beobachten.

unvorbereitetes Ereignis; denn in den Höhlen brechen stets im Laufe der Zeit neue Blöcke von der Decke herunter. Die Trümmermassen am Boden der Höhlen legen Zeugnis von diesen Deckenstürzen ab. Hierdurch wird das Höhlendach ständig aufwärts verlegt; es rückt immer näher an die Oberfläche heran, bis schließlich die Höhle eingestürzt und an der Oberfläche eine Doline vorhanden ist. Nur dieser letzte Einsturz ist ein plötzliches Ereignis, wenn es auch seit langer Zeit vorbereitet gewesen ist.

Fig. 25.



Unsere Abbildung (Fig. 25) zeigt das Profil durch einen Teil der Esperhöhle, welche durch die Aufnahmen von A. Neischl und J. Reger neuerdings trefflich vermessen wurde. Dies Profil schneidet eine offene Doline von brunnenförmiger Gestalt, welche durch einen seitlichen Höhlengang in eine Höhle führt. Die Höhle aber macht ebenfalls einen durchaus schachtartigen Eindruck; nur ist dieser Schacht nach oben abgeschlossen. Indessen besitzt die Gesteinsmasse, welche die Höhle von der Oberfläche

Eine Kommunikation mit der Außenluft in den Wasserspalten beeinträchtigt allerdings in hohem Maße die Saugwirkung; aber nicht immer wird sie hierdurch völlig aufgehoben. Hierzu kommt, daß die Saugkraft keineswegs Außergewöhnliches leisten muß. Durch sie wird nur der Reibungswiderstand überwunden, welcher verhindern würde, daß auf den engen Spalten das in die Tiefe sickernde Wasser weiterfließt.

Vermöge der Zerklüftungsverhältnisse wird durch die Saugkraft das Wasser in bestimmte Bahnen geleitet; und in diesen folgt es durchaus der Schwerkraft. Wenn jene Grundwasserstrombetten und Höhlenflüsse bereits vorhanden gewesen wären, dann bedürften wir keineswegs der Saugkraft der Quellen, um die Entstehung von Höhlenflüssen zu erklären. Aber diese haben sich doch erst im Laufe langer Zeiten durch die Korrosion des fließenden Wassers gebildet; die strömende Bewegung des Wassers wurde unseres Erachtens erst durch die Saugwirkung der Quellströme eingeleitet und dadurch die Korrosion ermöglicht. Jetzt aber, nachdem die Verkarstung in hohem Maße angewachsen ist — jetzt ist die Saugkraft nicht mehr denkbar; der Vorgang aber, den sie eingeleitet, ist nun im Gang — jedoch folgt er einer anderen Kraft, der Schwerkraft.

Wir wollen die hier gegebene Theorie der Entstehung von Höhlenflüssen durch die saugende Kraft der Quellströmungen an dem Beispiel der schon so oft genannten unterirdischen Verbindung zwischen Donau und Rhein (Aach) erläutern. Wir wissen, daß bei Immendingen etwa 4000 Sekundenliter Donauwasser versinken, welche in einer Entfernung von 13 km als Aach wieder aus dem Gebirge hervortreten. Die Aachquelle enthält zwar, wie bekannt (vgl. S. 60) das gesamte Donauwasser, keineswegs aber nur Donauwasser. Von den 7000 Sekundenlitern, welche der Aach durchschnittlich entströmen, kommen 3000 Sekundenliter auf einen eigenen Quellstrom. Dieser an und für sich schon gewaltig große Quellstrom hat unseres Erachtens die Saugwirkung ausgeübt, derzufolge die Donauwasser die engen Spalten benutzend in die Tiefe gerissen wurden. Durch die Korrosion sind dann die Spalten hinreichend erweitert worden, so daß der Höhlenfluß sich gebildet hat.

Zusammenfassung: Wir fassen die Ergebnisse unserer Studien über die Entstehung von Höhlenflüssen kurz wie

folgt zusammen. Eine Quelle übt vermöge ihrer oft sehr heftigen Strömung eine Saugwirkung aus; die Saugkraft des **Quellstromes** wirkt zunächst auf die ihm benachbarten Grundwassermengen. In diesen pflanzt sie sich fort. In den Zonen, in welchen die Zerklüftung am stärksten ist, in den Zerklüftungszonen, fließt das Grundwasser zum Quellstrom hin, es wird zum **Grundwasserstrom**, und dieser durch seine höhlenbildende Tätigkeit endlich zum **Höhlenfluß**. Der Höhlenfluß bewegt sich dann nicht mehr infolge der Saugkraft der Quellströme, sondern er fließt durch die Schwerkraft. Die Saugkraft aber, die eine Quelle oder ein Höhlenfluß auszuüben vermag, hört mit zunehmender Verkarstung auf.

Vierzehntes Kapitel.

Dolinen.

Definition. — Erklärungsversuche. — Morphologie. — Schüsselförmige Dolinen. — Trichterförmige Dolinen. — Brunnenförmige Dolinen. — Genetische Einteilung. — Einsturzdolinen. — Einsturzbeben. — Subaërisch gebildete Dolinen. — Nomenklatur. — Verteilung der Dolinen.

Als Dolinen werden allgemein die trichterförmigen Einsenkungen von kreisförmiger bis elliptischer Gestalt bezeichnet, welche in Karstgebieten oft in solch großer Anzahl geschart vorkommen, daß sie der Erdoberfläche ein gleichsam „blattersteppiges“ Antlitz verleihen. Das Wort Doline stammt aus dem Südslawischen, in diesen Sprachen bedeutet „Dolina“ so viel wie Tal. Wenn nun auch die Dolinen mit dem, was wir Tal zu nennen pflegen, wenig gemein haben, so hat dennoch das Wort Doline in die Reihe der wissenschaftlichen Fachausdrücke Eingang gefunden, zumal auch in den südslawischen Karstländern nicht allein die echten Täler — deren es nur wenige gibt —, sondern auch die „Karsttrichter“ diese Bezeichnung führen.

Unter der gemeinsamen Bezeichnung Doline fassen wir eine große Gruppe von Karstgebilden zusammen,

welche zwar verschiedener Entstehung sind, jedoch alle das eine gemeinsam haben, nämlich daß sie rundum geschlossene Einsenkungen in die Erdoberfläche darstellen.

Über die Dolinen, ihre Verbreitung, Form und Entstehung ist eine große Literatur vorhanden. Teils hat man ihre Entstehung auf Einstürze von Höhlenräumen zurückgeführt, teils glaubte man sie als Erweiterung von Spalten ansehen zu müssen; wieder andere haben versucht, die Entstehung der Dolinen durch die oberirdische Verwitterung zu erklären. Wie in den meisten derartigen Fällen, wo verschiedene Ansichten über einen Gegenstand sich herausgebildet haben — alle auf Beobachtungen gestützt —, so besitzt auch hier jede der Theorien ihre Berechtigung. Indessen kann keine derselben als die alleingültige angesehen werden.

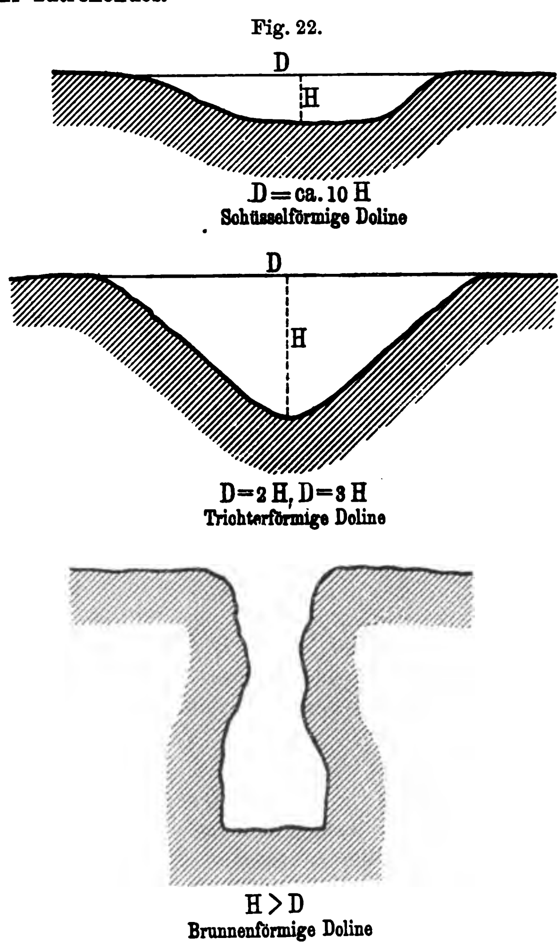
Von der Ansicht ausgehend, daß allein möglichst genaue Beobachtung der Doline in der Natur die Lösung des Problemes der Dolinenbildung ermöglichen könne, hat in neuerer Zeit Professor Cvijič aus Belgrad den Versuch gemacht, die Dolinen einzelner Gebiete kartographisch aufzunehmen und durch Vermessung ihre Dimensionen festzustellen. Diese genauen Messungen besitzen natürlich in erster Linie nur rein geomorphologischen Wert. Sie haben aber eine an sich zwar nicht neue Einteilung der Dolinen bestätigt, welche wir mit den gleichen Bezeichnungen wiedergeben, deren sich Cvijič bedient hat; es unterscheiden sich:

1. schüsselförmige Dolinen,
2. trichterförmige Dolinen,
3. brunnenförmige Dolinen.

Die schüsselförmigen Dolinen sind weite, ganz flache Einsenkungen von bedeutendem Umfang, aber meist nur geringer Tiefe. 10 bis 120 m beträgt der Durchmesser jener Senken bei einer nur geringen Tiefe von 2 bis 20 m. Die Beobachtungen von Cvijič haben gezeigt, daß das Verhältnis zwischen den Durchmessern der Senke (d) und der Tiefe (h) meistens etwa in dem Verhältnis $d = 10h$ steht. Da der Böschungswinkel bei dieser Art von Dolinen nur ein sehr geringer sein kann (höchstens etwa 10 bis 12°), so heben sich die Dolinen von Schüsselgestalt nur sehr schwach von der immer etwas welligen Umgebung ab; es ist daher auch oft recht schwer, die Gestalt der Senke zu ermitteln, so daß es stets der Willkür des einzelnen überlassen

bleibt, wohin der Rand der Einsenkung zu verlegen ist. Das Verhältnis $d = 10\,h$ ist somit, wie auch Cvijič sagt, nur ein ungefähr zutreffendes.

Fig. 22.



Schematische Darstellung der drei Dolinenformen.

Im Gegensatz zu den schüsselförmigen heben sich die trichterförmigen Dolinen scharf von der Oberfläche ab. Die Böschung der Dolinenwände erreicht einen Winkel bis zu 45° und

die Tiefe ist im Verhältnis zum Durchmesser weit größer als bei den erstgenannten schüsselförmigen Dolinen; $d = 2h$, $d = 3h$ sind die gewöhnlichen Beziehungen zwischen Durchmesser und Höhe. Die Dolinen von Trichtergestalt sollen nach Cvijič viel seltener sein als die von Schüsselgestalt. Diese Beobachtung ist neu, aber sie wird jedenfalls mit den Tatsachen übereinstimmen. Da die Dolinen von schüsselförmiger Gestalt bei weitem weniger in die Augen fallend sind, als die merkwürdigen tiefen Trichterdolinen, sind die meisten der ersteren den Beobachtungen des Reisenden entgangen und es wurde in der Literatur im allgemeinen zumeist nur der tieferen „Karsttrichter" gedacht.

In den Karstgebieten Deutschlands, namentlich im Fränkischen Jura, sind diese beiden Formen von Dolinen sehr verbreitet.

Die dritte Gruppe der brunnenförmigen Dolinen — auch Schlote genannt — ist die seltenste. Von Cvijič werden sie wie folgt eingeteilt:

a) Die „Avens", das sind Schlote, welche schachtförmig in die Tiefe gehen und dort blind enden oder aber auf kleine sackartige Höhlen führen;

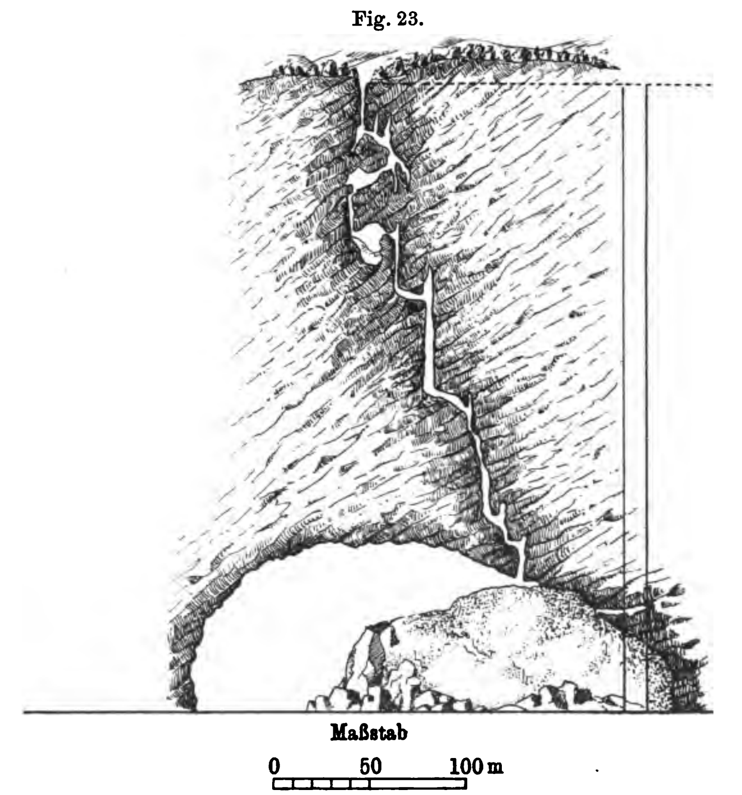
b) in Schächte, welche auf größere Höhlen oder Höhlenflüsse münden. Ist die Verbindung dieser „Naturschlote" mit der Höhle eine direkte, so daß Tageslicht durch sie fällt, so haben wir den Typus der „Light-holes". Das französische Wort „abîme" und die slawischen Benennungen „Jama" oder „Luknja" bezeichnen ebenfalls jene Gebilde. Wenn die brunnenförmigen Dolinen sich in engen Spalten verlieren, welche ihrerseits wieder mit Höhlengängen in Verbindung stehen, so unterscheidet Cvijič einen weiteren Typus der brunnenförmigen Doline.

Unsere Abbildung (Fig. 22) zeigt im Profil die drei Formen der Dolinen; die dritte, brunnenförmige Doline ist gleichzeitig das schematische Bild eines „Avens". Die folgende Abbildung (Fig. 23) stellt das Profil durch den von uns schon wiederholt erwähnten Trebičschacht dar, einer Doline, welche durch zahlreiche enge Spalten in verschiedene Höhlenräume führt, an deren Basis von dem Erforscher jener Höhle, Lindner, bekanntlich die Wasser der Reka aufgefunden wurden. Die Lindnerhöhle bei Trebič ist der beste Vertreter jenes zuletzt genannten Typus brunnenförmiger Dolinen.

Diese von Cvijič hervorgehobenen morphologischen Unterschiede der Dolinen sind indessen keineswegs auch auf genetische Verschiedenheiten zurückzuführen. Dies geht aus folgender Erwägung hervor.

Denken wir uns beispielsweise eine Doline von brunnenförmiger Gestalt. Eine solche kann durch das eingeschwemmte

Fig. 23.



Maßstab

0 50 100 m

Profil durch die „Lindnerhöhle" bei Trebič.

bzw. von den Wandungen des „Naturschachtes" abgebröckelte Material angefüllt werden. Dann verliert die Doline ihre brunnenförmige Gestalt und wir haben nur noch eine Doline, welche in die zweite Gruppe der trichterförmigen Dolinen zählt. Und wenn nun eine Doline von Trichtergestalt durch eingeschwemmtes Ge-

stein immer mehr angefüllt wird, dann kann diese Doline in eine vom ersten Typus, nämlich von schüsselförmiger Gestalt, übergehen. Diese Klassifikation der Dolinen von Cvijič ist somit nur eine morphologische, nicht aber zugleich eine genetische.

Eine weitere und zwar sehr häufige Dolinenform findet bei dieser Einteilung bedauerlicherweise überhaupt keine Berücksichtigung: das sind diejenigen Dolinen, welche eine geringe Tiefe besitzen, die aber von nahezu senkrechten Felswänden eingerahmt werden. Unsere Abbildung (Fig. 24) stellt beispielsweise eine von diesen dar. Solche Dolinen müßten wir ihrer vertikalen Wandungen wegen zu den brunnenförmigen stellen; indessen ist das Verhältnis zwischen Durchmesser und Tiefe ein anderes, als es bei brunnenförmigen Dolinen der Fall sein müßte. Denn wir haben gesehen, daß bei den letzteren stets $d < h$ ist, d. h. der Durchmesser geringer ist als die Tiefe. Bezüglich dieser Gruppe von Dolinen ist es also zweifelhaft, welcher morphologischen Gruppe sie angehören.

Diese nach rein morphologischen Merkmalen gemachte Einteilung der Dolinen kann den Geologen somit kaum befriedigen, da die ungleich wichtigeren genetischen Verschiedenheiten durch sie nicht berücksichtigt sind. Zudem sind, wie wir sahen, auch die morphologischen Unterschiede oft nur unscharf, da alle Übergänge zwischen ihnen vorkommen. Für uns sollen daher, ebenso wie bei der Klassifikation der Höhlen, nur genetische Gesichtspunkte maßgebend sein; daher bedienen wir uns folgender Einteilung:

I. Dolinen, welche dem Wasser nur **mittelbar** ihre Entstehung verdanken, indem die vom Wasser in der Tiefe gebildeten Höhlen derart in die Breite wachsen, daß sie zusammenbrechen; die dadurch entstandenen Dolinen werden **Einsturzdolinen** genannt. Die Formen der Einsturzdolinen sind sehr verschieden; solche von Trichterform sind wohl die häufigsten.

II. Dolinen, welche **unmittelbar** vom Wasser gebildet sind, indem entweder das Wasser auf größeren Spalten vertikal in die Tiefe drang und dabei diese zu Dolinen erweiterte, oder indem es auf zahlreichen kleinen Rissen versickerte und die gelöste Gesteinsmasse von der Oberfläche in die Tiefe führte. In ersterem Falle entstanden brunnenförmige Dolinen, in letzterem mehr trichter- oder schüsselförmige.

Die Dolinen dieser zweiten Gruppe sind also Produkte der oberirdischen, subaërischen Abtragung, wäh-

Fig. 24.



Karstlandschaft mit einer Doline aus dem Adelsberger Karst.

rend die der ersten Gruppe die der unterirdischen, subterrestrischen Abtragung eines Karstgebirges sind.

Die Einsturzdolinen. Von der allgemein bekannten großen Verbreitung der Höhlen in Karstgesteinen ausgehend, glaubte man schon seit alten Zeiten die Dolinen als Zeugen einstmals vorhandener, nun aber eingestürzter Höhlen ansehen zu dürfen. Man ist aber mit dieser Ansicht zu weit gegangen, indem man alle Dolinen als durch Einsturz entstanden zu deuten versuchte. Nun hat die Beobachtung aber gelehrt, daß dies in vielen Fällen unzutreffend ist und daß auch die oberirdische Abtragung sehr wohl dolinenbildend wirken kann. Namentlich ist es das Verdienst von J. Cvijič gewesen, nachzuweisen, wie durch subaërische Abtragung Dolinen entstehen können. Seitdem herrscht nun wieder umgekehrt die Neigung, das gesamte Dolinenphänomen auf die oberirdische Abtragung zurückzuführen.

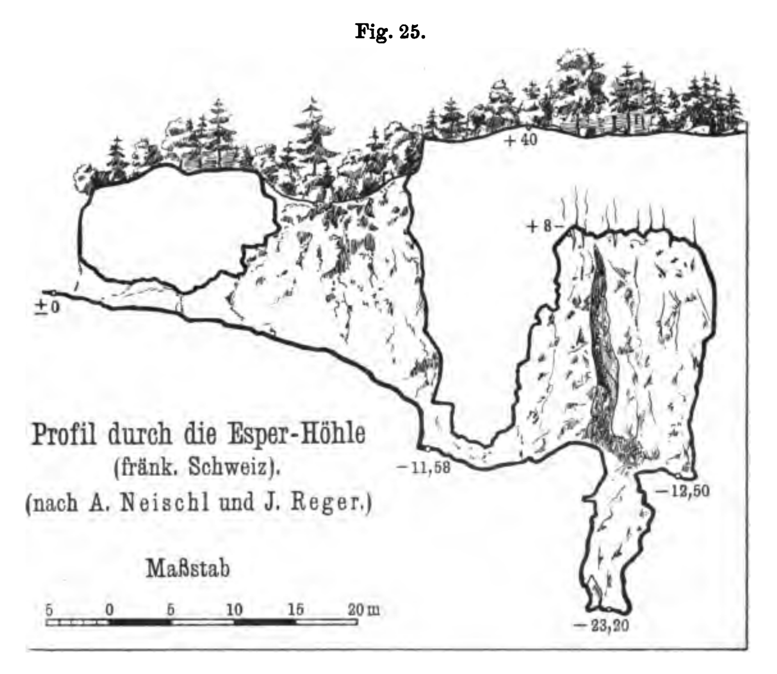
Demgegenüber müssen wir aber unbedingt daran festhalten, daß sich sehr oft auch durch Einsturz von Höhlen Dolinen gebildet haben. In Gips- und Salzgebirgen ist diese Art der Dolinenbildung eine ganz allgemein verbreitete Erscheinung; aber auch in Kalk- und Dolomitgebirgen entstehen solche Einbrüche. In historischer Zeit haben sich beispielsweise sowohl im Schwäbischen als auch im Fränkischen Jura eine Reihe von Dolinen durch plötzliche Einstürze gebildet. Diese Dolinen sind somit nur auf Höhlen zurückzuführen, welche einst hier vorhanden waren.

Derartige Zusammenbrüche von Hohlräumen gehen naturgemäß nicht ohne eine gleichzeitige beträchtliche Erderschütterung vor sich; es ist der Einbruch stets mit einem, wenn auch nur kleinen Erdbeben — einem sogenannten Einsturzbeben — verbunden [1]). Die große Anzahl der Erderschütterungen, welche in einem jeden Karstgebirge vorkommen, lassen darauf schließen, daß der Vorgang der Dolinenbildung durch Einstürze von Höhlen keineswegs ein seltenes Phänomen ist. Diese Einbrüche können allerdings nicht verfolgt werden, — es sei denn, daß ein Mensch zufällig Augenzeuge eines solchen nie vorauszusehenden Einsturzes ist. Dennoch ist aber ein Höhleneinsturz keineswegs ein völlig

[1]) In gleicher Weise rufen auch Einstürze verlassener Bergwerke oftmals beträchtliche „Einsturzbeben" hervor; auch hierbei entstehen oft dolinenartige Gebilde. In den von Bergbau berührten Gebieten Schlesiens und des Harzes hat man beispielsweise oft Gelegenheit, dies zu beobachten.

unvorbereitetes Ereignis; denn in den Höhlen brechen stets im Laufe der Zeit neue Blöcke von der Decke herunter. Die Trümmermassen am Boden der Höhlen legen Zeugnis von diesen Deckenstürzen ab. Hierdurch wird das Höhlendach ständig aufwärts verlegt; es rückt immer näher an die Oberfläche heran, bis schließlich die Höhle eingestürzt und an der Oberfläche eine Doline vorhanden ist. Nur dieser letzte Einsturz ist ein plötzliches Ereignis, wenn es auch seit langer Zeit vorbereitet gewesen ist.

Fig. 25.



Unsere Abbildung (Fig. 25) zeigt das Profil durch einen Teil der Esperhöhle, welche durch die Aufnahmen von A. Neischl und J. Reger neuerdings trefflich vermessen wurde. Dies Profil schneidet eine offene Doline von brunnenförmiger Gestalt, welche durch einen seitlichen Höhlengang in eine Höhle führt. Die Höhle aber macht ebenfalls einen durchaus schachtartigen Eindruck; nur ist dieser Schacht nach oben abgeschlossen. Indessen besitzt die Gesteinsmasse, welche die Höhle von der Oberfläche

trennt, nur eine sehr geringe Mächtigkeit, so daß es eines, geologisch gesprochen, nur kurzen Zeitraumes bedarf, bis die Höhle zu einer Doline geworden ist.

Am Ende sehr vieler Höhlen kann man Felstrümmerhaufen, sog. Schuttkegel beobachten —, große Massen von Felstrümmern, welche teilweise gewaltige Blöcke enthalten. Da, wo der Versuch gemacht wurde, die unterirdische Lage solcher Schuttmassen genau festzustellen, hat man fast immer gefunden, daß an jenen Stellen an der Oberfläche sich Dolinen befanden, bei deren Einbruch die Schuttmassen entstanden sind. Von einem solchen Schuttkegel wird beispielsweise der hinterste Teil der Planinagrotte abgeschlossen. Hier konnte man durch genaue Vermessung der Höhle feststellen, daß dem Schutthaufen in der Höhle an der Oberfläche die sogenannte „Große Kolečiuka“ entsprach, eine gewaltige, große Doline von über 200 m Breite und 85 m Tiefe. Auch in der großen Grotte von Adelsberg finden sich zahlreiche Schuttkegel, welche nicht anders zu erklären sind als durch Einstürze seitlicher Höhlenteile; das Gebirge oberhalb der Grotte ist dementsprechend auch von Dolinen geradezu übersät. Die beiden benachbarten Grotten von Adelsberg und Groß-Otok werden nur durch die Trümmermassen einer großen Einsturzdoline, der Stara apnenca [1]), voneinander getrennt. Würde man, wie projektiert ist, den Schuttkegel unter der Stara apnenca durchbrechen, so könnte man wieder von der Adelsberger Grotte in die von Otok gelangen. Sehr oft kann auch die Beobachtung gemacht werden, daß eine offene Doline zu einer größeren Höhle führt. So kann man von der „Černa Jama“ aus über die gewaltigen, durch den Einsturz einer Höhle entstandenen Schuttmassen hinwegschreitend auf den unterirdischen Flußlauf der Poik gelangen. Hier hat die Masse des Einsturzmaterials nicht ausgereicht, um den Höhlengang völlig zu verstopfen, wie es beispielsweise bei der Stara apnenca der Fall war. Ebenso wissen wir von den beiden Dolinen von St. Canzian, daß sie auf Einbruch eines Teiles des Höhlenflußbettes der Reka zurückzuführen sind. Auch im Fränkischen Jura kommen viel auf Höhlen führende Dolinen vor,

---

[1]) Stara apnenca (slovenisch) heißt zu deutsch „alter Kalkofen“. Viele Dolinen werden zweckmäßigerweise von der Bevölkerung als Kalköfen benutzt.

welche dort als „Windlöcher“ bezeichnet werden. Der Boden solcher Dolinen ist stets von Schuttmassen bedeckt.

Die Bildung der mit Dolinen in Verbindung stehender Schuttmassen kann auf keine andere Ursache zurückgeführt werden, als auf Einstürze der Decke einzelner Höhlenteile. Denn auch der von Cvijič unternommene Versuch, die Bildung dieser Schuttmassen dadurch zu erklären, daß auf bereits vorhandenen (auf andere Weise entstandenen) Dolinen Material von der Oberfläche in die Tiefe geschwemmt sei, ist zu verwerfen, weil stets in diesen Schuttkegeln, zwischen andere große und kleine Felstrümmer gelagert, gewaltig große Blöcke vorkommen, welche niemals durch Einschwemmung in die Höhlen gelangen konnten.

Die wenigen hier gegebenen Beispiele für echte Einsturzdolinen könnten leicht auf das Vielfache vermehrt werden; indessen sind die Beobachtungen überall genau die gleichen, so daß es nicht nötig ist, solche aufzuzählen. Vielmehr genügte es uns, festzustellen, daß durch Einbrüche von Höhlenräumen im Gebirge Dolinen entstehen können und daß viele Dolinen auf Einstürze zurückzuführen sind.

Gleichwohl werden von J. Cvijič verschiedene Gründe gegen die Einsturztheorie der Dolinen geltend gemacht, welche wir nicht übergehen dürfen.

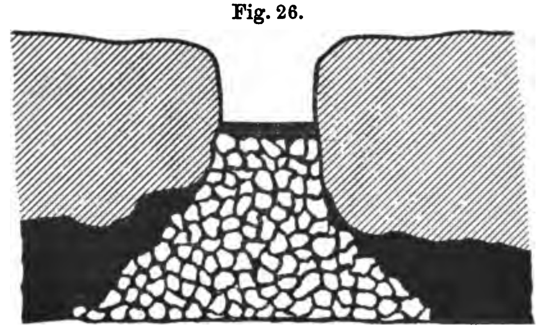
Zunächst meint Cvijič, daß kein einziger Fall bekannt sei, in welchem Felsdolinen [1]) sich durch Einsturz gebildet hätten. Indessen kennen wir, abgesehen von den vielen Beobachtungen, welche die Existenz von Einsturzdolinen beweisen, auch Fälle, in denen erwiesenermaßen ein Einbruch die Bildung einer Doline hervorgerufen hat.

In den nur sehr spärlich bevölkerten Karstgebieten des südöstlichen Europa mögen Einbrüche von Höhlen weniger beobachtet sein; in verkarsteten Kulturländern jedoch, wie im Schwäbischen

[1]) Der Ausdruck „Felsdoline“ ist im Gegensatz zu den in Flußniederungen häufigen Schwemmlanddolinen gebraucht, welche mit ersteren, den echten Dolinen, nur die trichterförmige Gestalt gemeinsam haben, aber ganz anderer Entstehung sind. Solche Schwemmlanddolinen entstehen, wenn das in die Tiefe dringende Wasser größere Spalten in der Felsunterlage findet und in diese den Schwemmlandschutt hineinträgt.

und Fränkischen Jura, sind seit alten Zeiten durchaus glaubwürdige Berichte notiert über die nur durch Einstürze zu erklärende plötzliche Bildung von Dolinen — ein Vorgang, welcher auch in der Gegenwart sich daselbst vollzieht [1]). Aber auch in anderen Karstgebieten hat man Kenntnis von plötzlich erfolgten Einbrüchen; so z. B. in Krain (bei Brunndorf 1889), in Frankreich im Jura-Departement bei Lons-le-Saulnier (1703, 1712, 1738, 1814, 1830) und an vielen anderen Orten. Es ist eines der Verdienste des verstorbenen österreichischen Höhlenkenners, des k. k. Regierungsrates Franz Kraus, den Einbruchserscheinungen in Karstgebieten seine Beachtung geschenkt und ihre Bedeutung richtig gewürdigt zu haben. Auch wir müssen den von J. Cvijič

Fig. 26.



Beispiel einer Einsturzdoline, in welcher das Schuttmaterial den Eingang zu einer Höhle versperrt.

geäußerten Zweifel an der Existenz von Einbruchsdolinen als völlig unbegründet fallen lassen.

Das gleiche gilt von dem zweiten Einwande Cvijičs gegen die Erklärung der Dolinen als Einstürze. Dieses stützt sich auf die Tatsache, daß die überwiegende Mehrzahl der Dolinen, nämlich die typisch schüssel- und trichterförmigen, nicht mit Höhlen in Verbindung stehen, folglich auch nicht durch Einbrüche erklärt werden können. Wir müssen aber auch diesen Einwand von der Hand weisen, weil die Beziehungen der Dolinen zu Höhlen durch die den Boden einer jeden Doline erfüllenden Schuttmassen sehr verdeckt sein können, wie es obenstehende Fig. 26 deutlich

[1]) Vgl. Dr. v. Ehmann: Die Versorgung der wasserarmen Alb mit fließendem Trink- und Nutzwasser. Stuttgart 1881.

erkennen läßt. Wenn somit die meisten Dolinen nicht mit Höhlengängen in Verbindung zu stehen scheinen, so kann darum doch nicht der Schluß gezogen werden, daß diese Beziehungen überhaupt fehlen. Äußerlich läßt sich eben der Zusammenhang in den meisten Fällen zwar nicht nachweisen; indessen ist es doch der Höhlenkunde zuweilen gelungen, die Höhlenarme, welche auf die Schuttmassen einer Einsturzdoline (vgl. vorstehende Figur) münden, aufzufinden. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist die Stara apnenca-Doline, deren Schuttmassen die Adelsberger Grotte von jener von Otok scheiden, ohne daß eine der beiden Grotten mit ihr äußerlich im Zusammenhang stünde [1]).

Gegen die von Cvijič versuchte Erklärung der Schuttkegel in Höhlen als Einschwemmungsprodukte haben wir uns bereits zuvor wenden müssen. Hier sei nur noch des letzten, scheinbar am schwersten ins Gewicht fallenden Einwandes gegen die Einsturzlehre der Dolinen gedacht. Cvijič hat die Flächenräume, welche die Dolinen in einem kleinen Teile des Fiumaner Karstes in der Nähe von Castua einnehmen, bestimmt; er konnte feststellen, daß auf der untersuchten, 1 qkm umfassenden Bodenfläche 40 Dolinen sich fanden, deren Flächenraum ein Zwölftel der gesamten Oberfläche ausmachte. Nun hat seinerzeit A. Schmidl annäherungsweise zu berechnen versucht, wieviel Flächenraum die Höhlen in dem Adelsberger Karst im Verhältnis zur Oberfläche ausmachen. Nach dieser Berechnung waren etwa drei Zehntausendstel der Oberfläche von Höhlengängen unterminiert. Wenn nun die Dolinen durch Einsturz von Höhlen sich gebildet hätten, so dürfte der von ihnen eingenommene Flächeninhalt nicht größer als jener der Höhlen sein — also nicht drei Zehntausendstel übersteigen. Da aber im Fiumaner Karst, wie J. Cvijič nachweisen konnte, ein Zwölftel der Fläche von Dolinen erfüllt ist, glaubt jener Autor folgern zu müssen, daß diese Dolinen anderer Entstehung seien, als durch Einsturz.

Nun ist aber die von Schmidl versuchte Berechnung des Flächenraumes der Höhlen ungenau; erstens sind in den letzten

---

[1]) Übrigens wäre es ja auch keineswegs erforderlich, daß eine Einbruchsdoline auf Höhlengänge führen müßte; denn wenn die Doline durch Einsturz einer Höhle entstanden ist, so kann die Höhle doch sehr wohl gänzlich vom Einsturzmaterial erfüllt sein, so daß sie als solche überhaupt nicht mehr vorhanden ist.

50 Jahren — und so weit liegen diese Beobachtungen zurück — sehr viele neue Höhlen entdeckt worden, sodann aber sind deren sicher noch sehr viel mehr vorhanden, als bekannt sind. Hierzu kommt, daß wir durch die Höhlenforschungen immer nur diejenigen Höhlen kennen gelernt haben, die in dem Niveau gelegen sind, in welchem die unterirdische Poik dahinrauscht. Nun sind aber die Höhlen — wie es beispielsweise bei der Adelsberger Grotte der Fall ist — auf sehr viele Niveaus verteilt. Der Flächeninhalt, welchen alle diese Höhlen in der Horizontalprojektion einnehmen, kann unmöglich auch nur annähernd genau geschätzt werden. Aber selbst wenn wir diese Zahl ermitteln könnten, so wäre immer noch in Betracht zu ziehen, daß durch die zahllosen Dolinen, welche sich im Gebiete des Adelsberger Karstes finden, doch möglicherweise frühere Höhlengänge verschüttet sein können, so daß also das Höhlenphänomen früher noch stärker ausgebildet gewesen wäre, als heute. Zu diesen unseren Gegenargumenten ist noch ein weiteres hinzuzufügen, nämlich, daß es nicht statthaft ist, zwei verschiedene Gebiete zu vergleichen: Wären im Fiumaner Karst mehr Dolinen, als Flächenraum im Adelsberger Karst von Höhlen erfüllt ist, dann könnten wir hieraus doch nur den Schluß ziehen, daß der Fiumaner Karst bei Castua in höherem Maße „verkarstet“ war als der Adelsberger. Als allgemein gültigen Einwand müssen wir endlich noch hinzufügen, daß man nicht ohne weiteres berechtigt ist, ein Gebiet von etwa 6 Quadratmeilen, also etwa 300 qkm Landoberfläche wie das des Adelsberger Karstes, mit **einem** Quadratkilometer zu vergleichen. Letzteres ist zu klein, um für die Berechnung des Durchschnittes der gesamten Oberflächenausdehnung der Dolinen auf der Flächeneinheit benutzt werden zu können. Wir sehen somit, daß alle die von Cvijič erhobenen Einwände gegen die Einsturztheorie nicht beweisend sind. Nur einem einzigen kommt eine gewisse Beweiskraft zu: dieser stützt sich darauf, daß zuweilen die schlotförmigen Dolinen sich verengern und dann wieder erweitern. Vorausgesetzt, daß die Verengungen nach unten nicht etwa auf Einschwemmungen von oben oder Einbrüche von Felsmassen zurückzuführen sind, haben wir es hier mit einer Dolinenart zu tun, welche nicht durch Einstürze hervorgegangen sein kann. Wir haben dann Gebilde der zweiten Gruppe von Dolinen,

welche unmittelbar vom Wasser durch subaërische Abtragung gebildet worden sind.

Durch subaërische Abtragung entstandene Dolinen. Auf S. 142 haben wir die unmittelbar vom Wasser an der Oberfläche (subaërisch) geschaffenen Dolinen von den mittelbar vom Wasser gebildeten Einsturzdolinen unterschieden. Die subaërisch gebildeten Dolinen, namentlich diejenigen von brunnenförmiger Gestalt, sind ihrer Entstehung nach nichts anderes als Höhlen, nur daß diese nicht in der Horizontalen, sondern in der Vertikalen ihre Längenerstreckung haben. Bei den mehr trichter- oder schüsselförmigen Dolinen würde der Ausdruck Höhle allerdings zu verwerfen sein — gleichwohl sind aber auch sie des öfteren, ebenso wie im Inneren des Gebirges die Höhlen, durch die chemische Kraft des Wassers, insonderheit des kohlensäureführenden gebildet.

Betrachten wir zunächst von den durch subaërische Abtragung gebildeten Dolinen diejenigen von brunnenförmiger Gestalt. Die Entstehungsart dieser ist bei weitem die einfachste aller Dolinen.

Sie werden bei der für Karstgebirge charakteristischen vertikalen Entwässerungsart durch die Korrosion des in die Tiefe herabrinnenden Wassers in Gestalt schlotförmiger Gänge geschaffen. Da die in den Karstgebieten versinkenden Wasser sich unterirdisch im Grundwasser oder in Grundwasserströmen bzw. in Höhlenflüssen vereinigen, so müssen auch die vom Wasser geschaffenen brunnenförmigen Dolinen in der Tiefe stets mit einer dieser drei „Grundwasserarten“ in Verbindung stehen — oder zum mindesten gestanden haben. Wenn das nun heute nicht mehr der Fall ist — und es ist in der Tat selten, daß die Dolinen auf unterirdisches Wasser münden —, so findet dies einesteils seine Erklärung darin, daß das Grundwasser bereits von seiner allgemeinen Ausbreitung gewichen und in bestimmte Grundwasserströme sich zurückgezogen hat.

Zum anderen Teil aber ist das Fehlen der Beziehungen zwischen Dolinenschächten und Grundwasser darauf zurückzuführen, daß die Zugangsspalten der Dolinen zu jenem durch herabgebrochene Gesteinstrümmer verschüttet sind. So finden sich am Boden aller Dolinen große Mengen von Gesteinsschutt und von oben eingeschwemmter Erde angesammelt. Denken wir

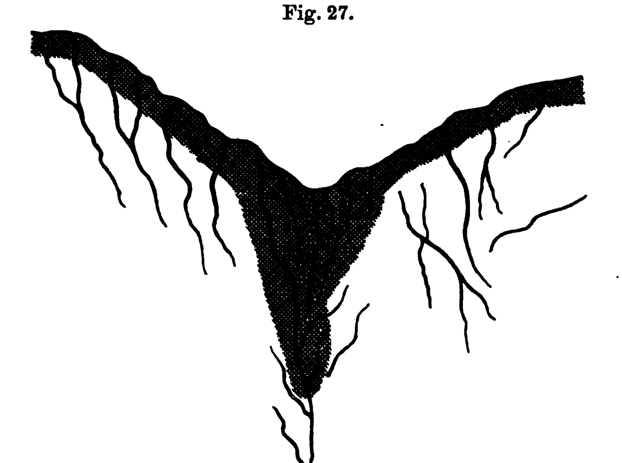
uns diese Zuschüttung lange Zeiten hindurch fortgesetzt, dann wird der Dolinenschacht erfüllt sein, und die ursprünglich brunnenförmige Doline hätte eine mehr trichterförmige Gestalt angenommen. Wenn nun durch die Verwitterung auch die oberen Ränder der Dolinen abgetragen werden, dann ist die Trichterform völlig hergestellt und wird dieser Zuschüttungsprozeß noch weiter fortgesetzt, dann entsteht schließlich eine Doline von schüsselförmiger Gestalt. Somit hätten wir eine der subaërischen Entstehungsweisen von Dolinen berührt; sie ist aber keineswegs die einzige. Denn wir hatten hierbei nur einen bestimmten Fall angenommen, in dem vorausgesetzt wurde, daß bei der hohen Zerklüftung der Karstgebiete das Wasser die Möglichkeit hatte, auf einer der Spalten in die Tiefe zu rinnen, so daß diese zu einem Dolinenschachte erweitert werden konnte. Falls nun solche größere Spalten in der Felsmasse nicht vorhanden sind, so können diese auch durch viele kleine nahe benachbart gelegene ersetzt werden. Auf diesen kleinen engen Spalten versickert das Wasser naturgemäß bedeutend langsamer als auf einer einzigen großen Spalte. Infolgedessen hat es Zeit, seine volle Lösungskraft bereits an der Oberfläche zu entfalten. Es löst hier ganz allmählich den Kalk bzw. Dolomit auf und nimmt das gelöste Material mit in die Tiefe, während an der Oberfläche nur der unlösliche Bestandteil der Karstgesteine — die Terra rossa — zurückbleibt. Durch die Auflösung und Fortführung des Kalkes in die Tiefe muß sich naturgemäß an der Oberfläche allmählich eine Einsenkung bilden; wenn diese Einsenkung noch gering ist, dann haben wir eine schüsselförmige, wenn sie stärker ist, aber eine trichterförmige Doline. Es ist, wie schon gesagt, das Verdienst von J. Cvijič, diese Entstehungsart vieler Dolinen richtig erkannt zu haben. Unsere Abbildung zeigt ein Profil durch eine auf diese Weise entstandene Doline [1]) (Fig. 27).

[1]) Streng genommen sind diese Dolinen überhaupt gar keine Karstphänomene. Denn das Wesentliche der „Verkarstung" ist die Verlegung des Wassers — also auch der Wirkung des Wassers — von der Oberfläche in die Tiefe. Die Korrosionswirkungen an der Oberfläche sind somit nichts dem Karst Eigentümliches; sie können in jedem vom Wasser löslichen Gestein entstehen, auch wenn es keineswegs die Eigenschaften eines Karstgesteines besitzt.

Ebensowenig ist die Karrenbildung ein Karstphänomen. Die „Karren" sind oft viele Centimeter tiefe Rinnen, welche das ober-

Zu der Gruppe der subaërisch entstandenen Dolinen müssen auch viele jener Ponore gezählt werden, von denen eingehender in dem Abschnitt über Höhlenflüsse berichtet wurde. Wir haben dabei des öfteren erwähnt, daß ein Fluß beim Betreten verkarsteten Gebietes von der Oberfläche verschwindet. Diese Flußschwinden, oder besser gesagt, die Löcher, in welche die Flüsse sich ergießen, also die Ponore, sind ihrer Form nach vielfach nichts anderes als Dolinen; und es bleibt ungewiß, ob nicht so manche der Dolinen,

Fig. 27.



Profilschnitt durch eine subaërisch gebildete Doline infolge Auflösung des Gesteins durch Sickerwasser (nach J. Cvijič).

welche heute zwar nicht mehr als Ponore in Tätigkeit sind, ehemals dennoch als solche angelegt wurden.

Hierbei muß auf eine vielfach verbreitete irrige Meinung aufmerksam gemacht werden, nach welcher der Fluß die als Ponor wirkende Doline geschaffen haben soll. Demgegenüber

---

flächlich rinnende Regenwasser durch seine Korrosionstätigkeit gegraben hat. Die einzelnen Rinnen eines Karrenfeldes sind durch schmale, scharfe Grate voneinander getrennt. Solche Karrenfelder finden sich auch im Karst; sie sind aber nicht dem Karst eigentümlich; sie sind kein Karstphänomen. Deswegen haben wir ihrer bisher überhaupt nicht gedacht.

müssen wir aber betonen, daß ein Fluß als solcher nicht imstande ist, eine Doline zu bilden. Die Entstehung einer Ponor-Doline ist vielmehr in anderer Weise, und zwar wie folgt zu denken. Der Fluß fließt über klüftiges Karstgestein; dabei werden von den Spalten zunächst nur kleine Quantitäten Wasser verschluckt, welche langsam in die Tiefe rieseln und dabei, ihre chemische Tätigkeit entfaltend, die vorhandenen Spalten zu Höhlen, bzw. Höhlenschloten erweitern. In dem gleichen Maße, in dem die Spalten mehr erweitert werden, wird auch dem Flusse immer mehr Wasser entzogen, bis schließlich der gesamte Fluß sich in die von Sickerwassern gebildete Ponor-Doline ergießt. Der Fluß als solcher hat somit nicht die Doline geschaffen, sondern die von ihm aus in der Tiefe sich verlierenden Sickerwasser haben es getan. Ganz ebenso kann auch die Dolinenbildung ohne Hinzutun eines Flusses allein durch die den Niederschlägen entstammenden Sickerwasser vor sich gehen; nur wird in dem Falle, wo durch einen Fluß ständig neues Wasser herbeigetragen wird, die Bildung von Dolinen sehr beschleunigt werden. Gänzlich unabhängig von Flüssen haben sich beispielsweise die vielen Hunderte von Dolinen gebildet, welche auf der Höhe des süddeutschen Juraplateaus vorkommen. Hinsichtlich sehr vieler derselben ist es jedoch zweifelhaft, ob sie nicht durch Einsturz von Höhlen entstanden sind und somit der Gruppe der Einsturzdolinen beizuzählen sind. Die allgemein dort übliche Bezeichnung „Erdfall“ für eine solche Doline läßt das instinktive Gefühl der Bewohner erkennen, nach welchem diese Löcher mit ehemaligen Höhlen in Verbindung gebracht werden. Daß bei vielen Erdfällen dies der Fall ist, haben wir bereits erwähnt; bezüglich vieler anderer Erdfälle aber darf man wohl annehmen, daß sie sich durch die von Cvijič so eingehend studierte subaërische Abtragung gebildet haben.

Da, wie die vorhergehenden Seiten gezeigt haben, die Bildung der Dolinen auf sehr verschiedene Weise vor sich gegangen sein kann, dürfen wir in der Bezeichnung „Doline“ nunmehr nur noch einen morphologischen Begriff, nicht aber einen geologischen erblicken. Denn geologisch stellt das Wort Doline sich nicht mehr als Einheit dar. E. Tietze hat daher die durch Einsturz gebildeten Dolinen als „echte Dolinen“ von den

Wissenschaftliche Bezeichnung	Deutschland (u. Deutsch-Österreich)	Frankreich	England	Andere Länder
Brunnenförmige Doline oder Naturschacht	Schlund Einsturzschlund Erosions- (besser Korrosions-)schlund Wetterlöcher Windlöcher	Gouffres Abîmes Avens Tindouls	Light holes	Jama (Krain) Breždno (Krain) [= ohne Boden, Abgrund] Propast (Böhmen) [= Abgrund] Aerde pipes (Belgien) [= Erdpfeife]
Dolinen (nach Cvijič schüssel- und trichterförmige Dolinen)	Doline Erdfall Erdtrichter Karsttrichter Hühle Erdloch	Entonnoirs Marnes Bétoires usw.	Swallow holes Sink holes	Dolina (Krain) [= kleines Tal] Závrtky (Böhmen) Vrtača (Serbien) Vrtlina (Dalmatien) Dolae (Istrien) Duliba (Kroatien) Busi (Italien) [= Löcher]

subaërisch gebildeten auszuscheiden versucht; nach Ansicht dieses Forschers waren die Einsturzdolinen die wichtigsten. Umgekehrt hat aber Cvijič, von der Ansicht ausgehend, daß die subaërisch gebildeten Dolinen die häufigeren seien, diese letzteren als „echte Dolinen“ bezeichnet. Der Ausdruck „echte Dolinen“ führt somit zu Verwechslungen und ist daher zu verwerfen. Ähnlich geht es mit vielen anderen Bezeichnungen, welche für die zur Gruppe der Dolinen gehörigen Karstgebilde in Anwendung gekommen sind. Wir haben uns hier im allgemeinen nur weniger Bezeichnungen bedient; da indessen in vielen geographischen Büchern andere Ausdrücke in Anwendung kommen, sind die häufigeren synonymen Bezeichnungen auf vorstehender Tabelle (S. 155) angeführt worden.

Es erübrigt nun noch einiges hinsichtlich der Verteilung der Dolinen auf der Oberfläche der Karstgebiete zu erörtern. Wie bereits hervorgehoben, sind manche Zonen der Karstgebiete mit Dolinen derart übersät, daß die österreichischen Geologen sich des freilich sehr naturalistisch klingenden Ausdruckes „blattersteppig“ für solche Terrains bedienten. In vielen verkarsteten Gebieten sind jedoch die Dolinen nicht in dem Maße verbreitet; dann kann man beobachten, daß die Dolinen sich auf gewisse stark zerklüftete Zonen des Gebirges beschränken. So haben wir bereits erwähnt, daß nach den Untersuchen A. Neischls im Fränkischen Jura sich solche Zerklüftungen erkennen lassen, auf welchen die Dolinen verteilt sind.

Auch durch die wichtigen Studien von H. Stille im Gebiet der Paderborner Hochfläche wurden, wie bekannt, solche Dolinenzonen konstatiert, und zwar hier zugleich im Zusammenhang mit Grundwasserströmen.

Hinsichtlich der meisten dieser Dolinen herrscht jedoch Unsicherheit, ob ihre Entstehung auf subaërische oder subterrestrische Abtragung zurückzuführen ist; denn beide genetisch zu trennenden Gruppen von Dolinen kommen in der Natur stets nebeneinander vor. Dieser Umstand findet darin seine Erklärung, daß die stark zerklüfteten Zonen des Gebirges sowohl der subaërischen Dolinenbildung, wie auch der subterrestrischen Höhlenbildung günstig sind; wo aber letztere stattfindet, müssen auch Einbruchserscheinungen vorkommen können. Folglich finden sich auch stets die Einsturzdolinen neben den subaërisch entstandenen.

Innerhalb solcher, durch zahlreiche Dolinen ausgezeichneter Zerklüftungszonen treten vielfach nahe benachbarte Dolinen in ausgesprochen reihenförmiger Anordnung nebeneinander auf. Diese Dolinenreihen haben sich durch gleichzeitige Erweiterung einer längeren Spalte an mehreren Stellen gebildet.

Auch reihenförmig angeordnete Einsturzdolinen können zuweilen vorkommen. Ihre Entstehung ist dann auf Einbruch eines längeren Höhlensystems zurückzuführen; bei Besprechung der unterirdischen Donau-Rheinverbindung hatten wir erläutert, wie durch die bereits begonnenen Einbrüche allmählich eine ganze Reihe von Einbrüchen entstehen müssen, aus welchen schließlich ein ganzes Tal durch Einbruch entstehen kann. Dies führt uns jedoch bereits zu den im folgenden Kapitel zu besprechenden Erscheinungen.

Fünfzehntes Kapitel.

Die Bedeutung der Dolinen für die Entstehung von Tälern.

Fehlen der Erosionstäler in Karstländern. — Tektonische Täler. — Einsturztäler. — Tal der Sorgue (Vaucluse). — Rückschritt der Quellen infolge Einsturz von Quellhöhlen. — Vauclusetäler. — Dolinen als Talanfänge.

Da die Entwässerung echter Karstgebiete nicht an der Oberfläche stattfindet, sondern infolge der hohen Klüftigkeit des Gesteins in die Tiefe verlegt ist, können sich auch keine Täler durch die erodierenden Kräfte des Wassers bilden.

Wo sich in den Karstgebieten dennoch Talungen finden, muß ihre Bildung auf eine andere Entstehungsursache, als durch die Erosion zurückgeführt werden. Von dieser abgesehen, kennen wir nun noch verschiedene andere Ursachen für die Entstehung von Tälern: zunächst sind es die gebirgsbildenden (tektonischen) Kräfte, welche talbildend wirken können. „Tektonische Täler“ sind einmal die sogenannten Grabenbrüche, das sind langgestreckte Streifen Landes, welche sich zwischen

stehen gebliebenen Gebirgsmassen gesenkt haben[1]). Sodann können auch bei jenen Faltungen der Erdrinde, deren Resultat uns in den großen Kettengebirgen, z. B. Alpen, Schweizer Jura usw., entgegentritt, Talungen tektonisch herausgebildet werden. Solche „Faltentäler" sind ebenso wie die Grabenbrüche von der Erosion umgestaltet worden, so daß es oft schwer wird, diese tektonisch gebildeten Täler von den „reinen" Erosionstälern zu unterscheiden. In den Karstgebieten, denen die Erosionstäler fehlen, könnte man die Entstehung mancher Talungen wohl auf tektonische Kräfte zurückführen. Indessen kann man unmöglich annehmen, daß alle Täler in den verschiedenen Karstländern der Erde durch diese gebirgsbildenden Vorgänge geschaffen seien. Namentlich kann dies in den verkarsteten Plateauländern nicht der Fall sein, weil die tektonischen Kräfte daselbst gar nicht in diesem Maße gewirkt haben.

Wenn nun diese Täler weder durch subaërische Erosion noch durch tektonische Kräfte gebildet sein können, so bleibt nur noch eine einzige weitere Entstehungsart übrig, nämlich durch **Einsturz von Höhlenkanälen.** Da in den Karstgebieten die vom Wasser ausgeübte Denudation nicht subaërisch, sondern subterrestrisch — also höhlenbildend, und nicht talbildend — wirkt, so liegt der Gedanke sehr nahe, daß die vorhandenen Täler als Zusammenbrüche einstiger Höhlengänge anzusehen seien. An Wahrscheinlichkeit gewinnt diese Auffassung im Hinblick auf die zahlreichen Einsturzdolinen, welche in verkarsteten Gebieten sich finden.

Der Entstehungsvorgang eines solchen Einsturztales ist kurz folgender: Durch immer neue Einbrüche verschiedener Teile eines sich ständig erweiternden, kanalartig gestalteten Höhlensystemes bilden sich an der Oberfläche Einsturzdolinen, welche sich allmählich zu einer langgestreckten Depression vereinigen. Der Boden dieser Senke ist zwar zunächst noch von den Trümmermassen der zusammengebrochenen Höhlendecke erfüllt, nach deren Fortschaffung aber entsteht — infolge der nunmehr größtenteils subaërischen Abtragung — ein echtes Tal.

---

[1]) Das obere Rheintal zwischen Schwarzwald und Odenwald einerseits, und Vogesen und Haardt andererseits ist ein klassisches Beispiel für ein durch eine Grabenversenkung entstandenes Tal; andere Grabenbrüche sind beispielsweise das Jordantal, Teile des oberen Niltales usw.

Man kann oftmals die verschiedenen Übergangsstufen zwischen einer Flußbetthöhle und einem Tal beobachten. So haben wir gesehen, wie im St. Canzianer Karst der Oberlauf der Reka zweimal zwischen den Felsen von der Oberfläche verschwindet, bis schließlich der Fluß zum dritten- und letztenmal — auf Nimmerwiedersehen (?) — in das Gebirge eintritt. Die einzelnen Teile des Höhlenflusses werden also durch offene Talstrecken voneinander getrennt; daß diese durch Einsturz von Höhlenteilen entstanden sind, kann kaum in Zweifel gezogen werden. Die beiden offenen Talstrecken der Reka, die Große und die Kleine Doline sind gleichzeitig ein treffliches Beispiel für die Entfernung der Trümmermassen vom Boden eines durch Einsturz von Höhlen entstandenen Tales. Denn weder die Große noch die Kleine Doline enthalten an ihrem Boden größere Massen von Felsblöcken; ehedem müssen solche naturgemäß vorhanden gewesen sein, sie sind aber von den Wassern der Reka hinweggeführt worden.

Auch bei der unterirdischen Verbindung zwischen Donau und Aach haben wir darauf hingewiesen, daß Einbruchsvorgänge in jenem Höhlenbett bereits stattgefunden haben; denn die große langgestreckte Doline [1]) kurz vor dem Wiederaustritt des Donauwassers bei dem Orte Aach weist auf solche Einstürze hin.

Am deutlichsten kann man die Entstehung eines Tales durch Einsturz bei manchen Quellhöhlen erkennen. Ein besonders schlagendes Beispiel ist das tief eingeschnittene Tal der Sorgue, welche, wie bekannt, von der Vaucluse gespeist wird. Die Quelle der Vaucluse entspringt in einem sehr tiefen Niveau — weit über 100 m unterhalb des das Tal begrenzenden Plateaulandes. Der Fluß kann sich somit nicht durch oberirdische Erosion von der Quelle aus in das Kreidegebirge eingenagt haben. Denn das Tal — also das Flußbett — kann sich doch nur in dem Niveau der Quelle oder noch tiefer, nicht aber höher befinden und doch müßte man bei Annahme oberirdischer Talbildung den Schluß ziehen, daß das Tal ursprünglich in einem höheren Niveau sich gebildet habe, als die Quelle! Da dies nicht

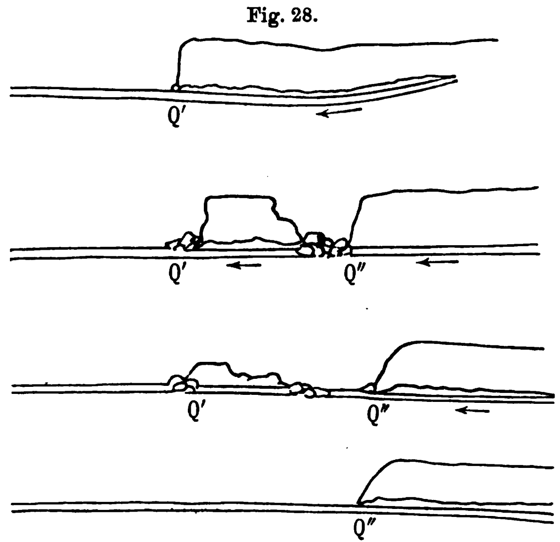
---

[1]) Daß diese Doline eine langgestreckte Form besitzt, ist nichts Auffälliges, denn nicht alle Dolinen sind elliptisch bis kreisrund; so kommen namentlich bei den Einbruchdolinen verschiedene Formen vor, wenn sie auch im allgemeinen, ebenso wie die subaërisch gebildeten Dolinen, eine annähernd kreisrunde Form besitzen.

wohl möglich ist, müssen wir annehmen, daß das von der Vaucluse bewässerte obere Sorguetal durch subterrestrische Abtragung und darauf erfolgte Einstürze entstanden sei.

Unsere Abbildung (Fig. 28) erläutert, wie durch fortgesetzte Einbrüche einer Quellhöhle ein Talanfang rückwärts verlegt wird; die Talstrecke Q' bis Q'' — also der Abstand zwischen dem ehemaligen und dem gegenwärtigen Austrittspunkt der Quelle — ist, wie die Figur andeutet, durch subterrestrische Abtragung und dadurch bedingte Einstürze entstanden.

Fig. 28.



Schematische Darstellung des Zurückweichens eines Talanfanges infolge subterrestrischer Abtragung aus einer Quellhöhle.

Die durch Zusammenbrüche von Höhlengängen entstandenen Täler sind dadurch ausgezeichnet, daß sie nicht wie andere Täler von einer sanft geböschten Quellmulde ausgehen, sondern daß sie gänzlich unvermittelt in einem tief in das Gebirge eingesenkten Felsenkessel ihren Anfang nehmen. Da ein solches Tal — das der Vaucluse ist ein gutes Beispiel hierfür — dem talaufwärts wandernden Beobachter den Eindruck macht, als ob es von einer Mauer abgeschlossen sei, so hat man ehedem ein solches Tal eine „vallis clausa" bezeichnet. Wir wissen, daß der Name der Vau-

cluse, jener Quelle, welche am Anfang eines solchen Tales dem Gebirge entströmt, von dieser römischen Bezeichnung abgeleitet ist. Man würde gut daran tun, die alte Bezeichnung „vallis clausa“ für die offenbar durch Einstürze von Quellhöhlen entstandenen Talanfänge wieder anzuwenden, oder aber diesen Ausdruck nach dem schönsten Beispiel für diese Täler, nach der Vaucluse, als Vauclusetäler zu bezeichnen [1]).

Ein typisches Vauclusetal ist beispielsweise auch die kurze, aber tief ins Karstplateau eingeschnittene Talstrecke, welche das Kesseltal von Planina mit dem Austritt der Poik aus der Planinagrotte verbindet. Die Entstehung derselben wird, ebenso wie die des Tales der Vaucluse, erst verständlich, wenn wir die Einsturzvorgänge ins Auge fassen, welche in einem jeden Höhlensystem vorkommen. Auch in anderen Karstgebieten haben sich die Täler vielfach durch Einbrüche von Höhlen gebildet. So haben die württembergischen Geologen bereits seit langer Zeit erkannt, daß die Entstehung vieler der Täler der Schwäbischen Alb nur auf Einbrüche von Höhlen zurückzuführen ist. Eine gleiche Entstehungsart hinsichtlich vieler Täler des Fränkischen Jura hat neuerdings A. Neischl darzulegen versucht.

Die Talbildung in Karstgebieten durch Einstürze von Höhlen ist demnach eine allgemein verbreitete Erscheinung.

Da diese Einbrüche nicht auf einmal zugleich, sondern nach und nach erfolgen, ist der Beginn der Talbildung durch die Entstehung von Dolinen gekennzeichnet. Die Einsturzdolinen sind demnach — sit venia verbo — embryonale Täler; das slawische Wort dolina = Tal, bzw. „kleines Tal“, hat demnach hinsichtlich solcher Einbruchsdolinen seine volle Berechtigung. Daß in den Karstgebieten die offenen Täler im allgemeinen nicht häufig vorkommen, ist schon früher erwähnt worden; sehr viele Karstgebiete sind völlig ohne oberflächliche Täler. Wo sich diese aber finden, muß immer die Frage erwogen werden, ob sie nicht auf Einbrüche von Höhlen zurückzuführen sind.

---

[1]) Daß in dem Worte Vaucluse bereits das „Tal“ enthalten ist, darf uns nicht abhalten, von „Vauclusetälern“ zu sprechen. Auch der französische Speläologe E. A. Martel spricht von dem „Tal der Vaucluse“, obwohl die Ableitung des Wortes Vaucluse von vallis clausa ihm sehr wohl bekannt ist.

In beschränktem Maße gilt dies auch von den sogenannten Kesseltälern, welche in vielen verkarsteten Gebieten sich finden. Auch sie sind vielfach durch ausgedehnte Zusammenbrüche entstanden. Im folgenden Abschnitt sollen sie eingehender behandelt werden.

Sechzehntes Kapitel.

Die Kesseltäler.

Das Poljenproblem. — Tektonische Poljen: Senkungspoljen, Muldenpoljen, Aufbruchspoljen. — Einsturzpoljen. — Rackbachpolje. — Einebnung des Bodens der Kesseltäler.

In vielen Karstgebieten finden sich jene eigenartigen Talkessel (Karstwannen), welche nichts anderes sind, als große Einsenkungen in die Erdoberfläche, die jedoch bei der klüftigen Natur der Karstgesteine nicht, wie dies auf anderen Gesteinsarten der Fall wäre, in Seebecken umgewandelt sind, sondern ohne oberirdischen Abfluß gewöhnlich nahezu trocken daliegen. Diese Talungen hat man, wie bekannt, Kesseltäler oder Poljen benannt. Die Bedeutung der Poljen für die hydrographischen Verhältnisse der Karstländer haben wir bereits kennen gelernt. Hier handelt es sich darum, die Entstehungsweise der Poljen zu erörtern.

Das Problem der Poljenbildung zerfällt wiederum in zwei Unterprobleme: 1. Wie entstehen die Einsenkungen der Poljen? 2. Wie geschieht die natürliche Einebnung des Bodens derselben? Denn die Kesseltäler sind fast immer durch ebene Bodenflächen ausgezeichnet, weswegen sie als „Poljen“ (slawisch: polje = Feld) „Felder“ bezeichnet werden.

Die Entstehungsweise der Poljeneinsenkung ist auf zwei Ursachen zurückzuführen, nämlich 1. auf die gebirgsbildenden Kräfte, 2. auf Einstürze von Höhlensystemen infolge subterrestrischer Abtragung.

Die tektonisch gebildeten Poljen. Die gebirgsbildenden oder tektonischen Kräfte vermögen nicht allein die Entstehung

von echten Tälern zu veranlassen, sondern sie können auch Kesseltäler schaffen. Die Bildungsart der tektonischen Kesseltäler ist die gleiche, wie die der echten tektonischen Täler. So sind vielfach auch die Kesseltäler durch jene Grabenversenkungen entstanden, welche so oft die Entstehung echter Täler veranlaßt haben. Viele der Kesseltäler sind demnach nichts anderes als Senkungsfelder, wie sie auch sonst auf der Erde häufig vorkommen. Nur besitzen die Senkungsfelder der Karstgebiete jene hydrographischen Eigentümlichkeiten, welche anderen „Grabengebieten“ fehlen.

Abgesehen von diesen **Senkungspoljen** finden sich auch andere durch tektonische Kräfte geschaffene Kesseltäler. Zunächst sind es die sogenannten **Muldenpoljen**, welche bei den Faltungsvorgängen der Erdkruste entstehen können; ein solches Polje stellt eine wannenförmige **Einfaltung** der Erdrinde dar.

Neben den Senkungspoljen und den Muldenpoljen kommt noch eine weitere, dritte Art tektonischer Poljen vor: es sind die **Aufbruchspoljen.** Diese im allgemeinen selteneren Gebilde haben sich im Gegensatz zu den eingefalteten Muldenpoljen an sattelförmigen **Ausfaltungen** der Erdkruste gebildet. An solchen Stellen ist das Gestein zerrissen — aufgebrochen — und somit weniger widerstandsfähig gegenüber den in der Natur wirkenden zerstörenden Kräften.

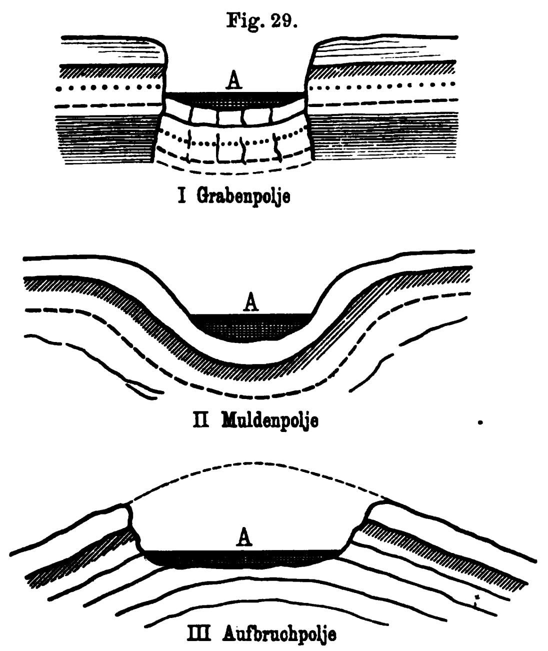
Wenn solche Verhältnisse in den karstbildenden Gesteinen, den chemisch leicht angreifbaren Kalken und Dolomiten sich finden, dann werden die zahlreichen Risse durch die Korrosion zu Höhlungen erweitert; und wenn diese schließlich einstürzen, dann wird an Stelle der ehemaligen Aufwölbung ein Tal entstehen. Wir können daher ein solches Kesseltal — so paradox es auch klingen mag — vom geologischen Standpunkte aus als einen Berg bezeichnen.

In unserer Abbildung (Fig. 29) sind die drei Arten tektonischer Poljen in Querprofilen durch die Poljenniederung schematisch veranschaulicht.

Die von den gebirgsbildenden Kräften gebildeten Kesseltäler zeichnen sich zumeist auch dadurch aus, daß ihre Längenerstreckung dem Streichen der Bruchlinien oder Falten eines Gebirges wenigstens ungefähr parallel verläuft.

Bei der zweiten Gruppe von Poljen aber, bei denjenigen Kesseltälern, welche nicht durch tektonische Kräfte gebildet sind, sondern deren Entstehung, ebenso wie die der meisten echten Karsttäler, auf Einbrüche von Höhlungen zurückzuführen ist — bei den **Einsturzpoljen** — sind derartige Beziehungen zwischen der Tektonik des geologischen Untergrundes und ihrer Orientierung nicht zu beobachten.

Fig. 29.



Schematischer Querschnitt durch die drei Arten tektonischer Poljen.
A Alluvium.

Die Einsturzpoljen unterscheiden sich durch ihre beliebige Orientierung auch von der zuletzt genannten Gruppe der tektonischen Poljen, den Aufbruchspoljen, welche in gewissem Sinne den Übergang zu den Einsturzpoljen darstellen.

Die Einsturzpoljen sind von den Dolinen nur durch ihre Größe unterschieden und zwar, weil die Einsturzdolinen im allgemeinen nur durch Zusammenbruch eines einzelnen Höhlenraumes sich gebildet haben, während die Einsturzpoljen aus einem

ganzen Höhlensystem — einem unterirdischen Flußbett mit zahlreichen Seitenhöhlungen — hervorgegangen sind.

Die Einsturzpoljen sind entsprechend der großen Verbreitung des Höhlenphänomens in den Karstgebieten wohl die häufigsten der Poljen. Gleichwohl herrscht aber im allgemeinen die Ansicht, daß die meisten Kesseltäler tektonischen Ursprungs seien. Wir glauben dem jedoch nicht beipflichten zu dürfen, denn überall, wo Störungen in der Tektonik eines Gebietes nachweisbar sind — sie mögen groß sein oder klein — ist das Gebiet auch in höherem Maße gespalten und somit für die Ausbildung des Höhlenphänomens begünstigt. An solchen Stellen können daher größere Höhlensysteme entstehen, aus welchen allmählich durch Einsturz Poljen werden. Ein deutliches Beispiel eines solchen durch Einsturz entstandenen Poljes ist der Rackbachkessel unfern der Station Rakek im Krainer Karst. Der das Rackbachpolje durchziehende Fluß, der Rackbach, ist bekanntlich der unterirdische Abfluß des Sees von Zirknitz. Das Wasser des Rackbaches tritt am Ende des Poljes wieder in das Gebirge ein und vereinigt sich daselbst mit der ebenfalls unterirdischen Poik in der Planinagrotte.

Das 2 km lange Rackbachpolje hat sich durch Einstürze eines Teiles der Höhlengänge gebildet, welche der unterirdische Rackbach einst durchlief. Gleichsam als Beweis hierfür sind in den beiden Naturbrücken von St. Canzian noch Teile der Decke erhalten, welche den Rackbach dereinst überwölbte. Unsere Abbildung (Fig. 30) stellt die große Naturbrücke von St. Canzian dar; an der Stelle, an welcher jetzt diese Naturbrücke sich befindet, war das Höhlendach allzu mächtig, um einzustürzen. Wäre der Rackbachkessel kein echtes Einsturzpolje, sondern ein durch tektonische Kräfte entstandenes Kesseltal, dann würden jene Naturbrücken nicht vorhanden sein können; das Kesseltal des Rackbaches ist somit eines der schönsten Beispiele für ein Einsturzpolje.

Die Entstehung der meisten Poljen läßt sich nicht mit Sicherheit feststellen, da die verschiedenen Beobachter bezüglich eines und desselben Polje sehr oft zu sehr verschiedenen Resultaten gekommen sind. A priori läßt sich allerdings wohl der Schluß ziehen, daß die Einsturzpoljen sich durch geringere Dimensionen auszeichnen müssen; das von uns genannte Beispiel des Rackbach-

poljes besitzt ja auch nur eine Länge von 2 km. Bezüglich der größeren Kesseltäler, welche einen Flächenraum bis zu mehreren Quadratmeilen einnehmen können, dürfte die Annahme, daß sie tektonischer Entstehung seien, die größere Wahrscheinlichkeit beanspruchen. Indessen muß man sich wohl hüten, auch jene

Fig. 30.



Die große Naturbrücke im Rackbachkessel bei St. Canzian im Wald.

größeren Poljen von vornherein als tektonisch gebildete anzusprechen, wenn nicht die geologischen Verhältnisse diese Annahme nahelegen. Es ist nämlich in hohem Maße zu verwundern, daß gerade die Karstgebiete so überaus zahlreiche tektonisch gebildete Terrainmulden aufweisen sollen, während diese in anderen Gebieten doch nur verhältnismäßig selten vorkommen. Daher ist

es sehr wohl bezüglich jedes einzelnen Kesseltales in Erwägung zu ziehen, ob es nicht etwa durch die in Karstgebieten herrschende subterrestrische Abtragung — also Höhlenbildung und darauf erfolgte Einstürze — entstanden sei.

Wir haben einleitend das Problem der Poljenbildung in zwei Unterprobleme zerlegt; das erste derselben, die Entstehung einer geschlossenen Terrainmulde, haben wir erörtert und sind zu dem Ergebnis gekommen, daß die Bildung der Hohlform des Kesseltales durch tektonische Kräfte gebildet sein kann — keineswegs aber muß. Es kann vielmehr auch durch die in Karstgebieten herrschende subterrestrische Abtragung sehr wohl eine Poljenniederung entstehen. Nur die Einsturzpoljen sind somit zu den eigentlichen Karstphänomenen zu zählen.

Das zweite der Poljenprobleme, die Frage nach der Art der Einebnung der Bodenfläche eines Kesseltales, ist weit einfacher zu lösen als die nach der Bildung der Wanne selbst. Denn die Einebnung des Terrains durch die Tätigkeit des Wassers ist ein alltäglich zu beobachtender geologischer Vorgang. So werden auch in die Poljenniederungen von allen Seiten her durch die Niederschläge Schlamm und Gesteinsbrocken eingeschwemmt, bis der Boden völlig eingeebnet ist. Solche Anschwemmungsprodukte (Alluvionen) erfüllen daher stets den ebenen Boden der Kesseltäler.

Das Poljenphänomen findet sich nicht nur in den Karstgebieten von Krain und Bosnien, wo wir es bisher kennen gelernt haben, sondern es ist auch in anderen Karstländern sehr verbreitet, so in Griechenland auf dem Peloponnes. Auch in dem Schweizer Jura kommen verschiedene Kesseltäler vor. Sie sind neuerdings in der trefflichen Monographie von Fr. Machaček über den Schweizer Jura beschrieben worden [1]). Wir glauben indessen auch hier, daß viele der von jenem Autor als tektonische Poljen beschriebenen Kesseltäler nichts anderes als Einsturzpoljen sind.

Mit dem Poljenphänomen schließen wir die Reihe der Karstphänomene ab, denn die eigenartigen hydrographischen Verhält-

[1]) Dr. Fr. Machaček, k. k. Gymnasialprofessor in Wien: Der Schweizer Jura. Versuch einer geomorphologischen Monographie. In Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft Nr. 150, Kap. VII. II, 4, p. 132 u. f.

nisse, welche in den Poljenniederungen sich abspielen, sind in dem Abschnitte über Karstflüsse bereits eingehend behandelt worden.

Im folgenden Kapitel wollen wir die wichtigsten Höhlengebiete Mitteleuropas und im Anschluß daran die einiger anderer Länder in kurzem Zusammenhange besprechen.

Siebzehntes Kapitel.

Die wichtigsten Höhlengebiete.

Höhlengebiete. — Höhlen in den Karpathen. — Alpen und Apenninen. — Süddeutscher Jura. — Rheinland, Westfalen. — Harz. — Belgien. — England. — Mähren. — Frankreich. — Nordamerika.

Da das Höhlenphänomen an zwei Vorbedingungen hinsichtlich des geologischen Untergrundes — Zerklüftung und chemische Löslichkeit des Gesteins — geknüpft ist, so kann man verstehen, warum die Höhlen nur in verhältnismäßig wenigen und räumlich beschränkten Gebieten sich finden. In diesen Höhlengebieten kommen aber, wie wir gesehen haben, die Höhlen zumeist in großer Menge vor. Verschiedene solcher Höhlengebiete haben wir bereits genannt; so die Fränkische Schweiz, den Schwäbischen Jura, den Karst. Auch der Höhlen im Departement Vaucluse im Zuzugsgebiet der Vauclusequelle ist kurz gedacht worden. Es seien hier in kurzer Übersicht die wichtigsten Höhlengebiete genannt.

Zunächst wollen wir der ungarischen Höhlen gedenken, welche in den Karpathenkalken des östlichen Ungarn auftreten. Die bekannteste derselben, die Grotte von Agtelek, ist nach der Adelsberger Grotte die größte bekannte Grotte Europas. Nach den neuesten Messungen beträgt die Länge des Haupthöhlenganges 5800 m; mit allen bisher bekannten Nebengängen hat die Höhle eine Gesamtlänge von 8666 m. Im hintersten Teile der Höhle befindet sich ein Tropfstein (Stalagmit) von nicht weniger als 20 m Höhe und einem Basisdurchmesser von 8 m. Bis vor wenigen Jahren galt die Grotte von Agtelek für die größte

Europas; seitdem aber die letzten Teile der Adelsberger Grotte entdeckt sind, kommt diese wieder an erster Stelle.

In dem großen Gebirgszuge der Alpen und Apenninen finden sich ebenfalls zahlreiche Höhlen. Die vom Gebirgsdruck zerklüfteten Kalke und Dolomite der Triasformation, des Jura, der Kreide und des älteren Tertiär sind vielfach von Höhlen durchsetzt. Namentlich sind im Salzkammergut sehr viele, wenn auch meist unbedeutende Höhlen vorhanden.

Das den Alpen südlich angegliederte Karstplateau ist durch die Fülle der Höhlen, wie wir wissen, besonders ausgezeichnet. Der Karst ist es ja, welcher dem großen geographischen Problem den Namen gegeben hat, von welchem das Höhlenphänomen nur ein Teil — wenn auch der wichtigste — ist.

Das bedeutendste Höhlengebiet in Deutschland ist der Süddeutsche Jura. Dies Gebirge besteht aus horizontalen Schichten der Juraformation, deren oberste Zonen namentlich im nordöstlichen Teile, in der sogenannten Fränkischen Schweiz, durch ihren Reichtum an Höhlen ausgezeichnet sind. Die Höhlen sind indessen meist nur klein; die größten von ihnen haben eine Ausdehnung von nur wenigen hundert Metern. In der Fränkischen Schweiz sind die bekanntesten Höhlen die Höhle von Burggailenreuth, welche wegen ihres großen Reichtums an fossilen Knochen als Zoolithenhöhle bezeichnet wird. Größer und schöner als diese ist die Rabensteiner Sophienhöhle und die Krottenseer Maximilianshöhle. Im Schwäbischen Jura ist besonders bekannt die Nebelhöhle, die Guttenberger Höhle, ferner die Charlottenhöhle bei Hürben und die große Quelle der Aachhöhle bei Zwiefalten[1]).

Abgesehen vom süddeutschen Juragebirge und dem Teil der nördlichen Kalkalpen kommen als Höhlengebiete in Deutschland die devonischen und unterkarbonischen Kalke und Dolomite des Harzes, von Westfalen und der Rheinprovinz in Betracht. Die bei Rübeland im Harz gelegenen Höhlen, die Baumannshöhle und die Hermannshöhle, sind weiten Kreisen bekannt geworden; erstere ist wohl auch die am längsten in der wissenschaftlichen Literatur bekannte und durchforschte Höhle.

---

[1]) Nicht zu verwechseln mit der anderen Aachquelle, welche der Wiederaustrittspunkt des bei Immendingen verschwindenden Donauwassers ist.

Dieselben Schichten kommen auch in Belgien und Südengland vor, und führen daselbst gleichfalls zahlreiche Höhlen. Die Grotten von Spy und La Naulette haben interessante Reste einer diluvialen Menschenrasse hinterlassen. Die Höhlen Englands sind durch die klassischen Arbeiten über die Höhlenfunde von Buckland und Dawkins bekannt geworden.

In den devonischen Schichten bei Brünn in Mähren finden sich ebenfalls zahlreiche Höhlen; namentlich bei Willimowitz südlich von Sloup ist eine größere Anzahl von Höhlen. Dort befindet sich auch die Punkva, ein Fluß, welcher wie so viele Karstflüsse, bald nach seinem Ursprunge in den Felsklüften verschwindet, um nach einem unterirdischen, mehr als 5 km langen Laufe wieder von neuem hervorzubrechen. Über diesem Höhlenflußbett befindet sich auch die Mazocha, eine große, 150 m tiefe Einsturzdoline, welche stets als besonders schauerlich beschrieben wird.

In Frankreich sind in den Kalken und Dolomiten der Jura- und Kreideformation oft zahllose Höhlen. Durch die Studien von E. A. Martel sind sie weiteren Kreisen bekannt geworden. Die Cevennen und der Kettenjura sind die bekanntesten Höhlengebiete Frankreichs. Das Vaucluseplateau haben wir als solches schon früher kennen gelernt.

Von den zahlreichen Höhlengebieten in anderen Teilen der Erde seien nur die gewaltigen nordamerikanischen Höhlen noch genannt, welche die kalkigen Schichten der unteren Carbonformation durchsetzen. Die größte Höhle, die Mammoth Cave, haben wir bereits früher erwähnt (vgl. Kap. II). Andere Grotten daselbst sind die große Wyandotthöhle (35 km), die Howehöhle (20 km), in Silurgesteinen befindlich, und die Kristallhöhle (17 km) [1]).

---

[1]) Die hier angegebenen Zahlen sind sicherlich nicht genau; wir erinnern an die Mammoth Cave, welche angeblich 240 km lang sein sollte, während sie in Wirklichkeit nicht einmal 50 km lang ist. Die Howehöhle ist nach anderen Angaben nur 11 km lang. Gleichwohl sind die genannten amerikanischen Höhlen — auch wenn sie nicht ganz so groß sein sollten — immer noch die größten bisher bekannten Höhlen.

Achtzehntes Kapitel.

Halbhöhlen.

Halbhöhlen. — Strandhöhlen. — Abrasionsrinnen. — Tunnelstrandhöhlen. — Felsentore. — Fingalshöhle. — Blaue Grotte von Capri. — Wüstenhöhlen. — Überdeckungshöhlen. — Gletscherhöhlen. — Eisspalten. — Gletschertore.

In den vorigen Abschnitten haben wir das Höhlenphänomen in Karstgebieten kennen gelernt; wir haben gesehen, eine wie große Bedeutung denselben bei der Herausbildung der sogenannten „Karstphänomene" zukommt. Die Höhlen der Karstgebiete sind durch die korrodierenden Kräfte des Wassers geschaffen und zwar desjenigen, welches auf den Spalten des Gesteines von der Oberfläche in die Tiefe rieselt. Die geologische Tätigkeit der Sickerwasser im Gebirgsinnern war es also, welche wir bisher kennen gelernt haben. Nunmehr kommen wir zu einer anderen Gruppe von Höhlen, den Halbhöhlen, welche im Gegensatz zu den bisher betrachteten nicht in der Tiefe des Gebirges, sondern an der Oberfläche gebildet sind, und welche nicht tief in das Gebirge hineingreifen, sondern, großen Nischen gleich, sackartige Räume darstellen.

Die Entstehung der Halbhöhlen kann auf verschiedenartige geologische Vorgänge zurückgeführt werden. Wir wollen die wichtigsten Gruppen der natürlichen Halbhöhlen im folgenden besprechen.

Die Strandhöhlen. Die häufigsten Vertreter der großen Gruppe der Halbhöhlen sind die sogenannten Strandhöhlen; ihre Entstehung durch die erodierende Kraft der brandenden Woge mußte bereits früher erörtert werden. Die Strandhöhlen sind auf die Steilküsten fester Felsgesteine beschränkt, da die Wellen nur an den Steilküsten ihre erodierende Kraft ungebrochen zu entfalten vermögen. Die Entstehungsweise der Strandhöhlen wird durch die Abbildungen (Fig. 31 und 32) veranschaulicht.

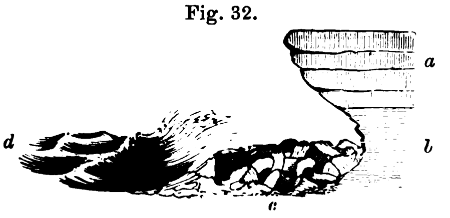
Wenn sich die Strandhöhlen auch in allen festen Gesteinen bilden können, so muß doch hervorgehoben werden, daß sie am häufigsten an den Küsten vorkommen, deren Uferzone von Kalken oder Sandsteinen gebildet ist. Die Häufigkeit der Strandhöhlen an kalkigen Küsten könnte vielleicht darauf zurückgeführt werden, daß dort die Meereserosion (Abrasion) durch die chemische Kraft des Wassers, die Korrosion, unterstützt wird.

Fig. 31.



Die zahlreichen Strandhöhlen in Sandsteingebirgen erklären sich durch die geringe Festigkeit vieler Sandsteine. Denn die Sandsteine sind nichts anderes, als durch ein natürliches Binde-

Fig. 32.



mittel verkitteter Sand. Ist dieses Bindemittel ein sehr festes, z. B. Kieselsäure (Quarz), so sind die Sandsteine ungemein widerstandsfähig, ist aber die Verfertigung des Sandes zu Sandstein eine nur unvollkommene, so leistet ein solches Gestein den in der Natur wirkenden mechanischen Kräften nur weit geringeren Widerstand. In solchen minder festen Sandsteinen kommen die Strandhöhlen naturgemäß besonders häufig vor.

Ebenso wie die Erosion der Flüsse und Bäche nicht durch die Reibung des Wassers selbst, sondern durch die von ihm mitgeführten festen Bestandteile (Schlamm, Sand, Gerölle) ausgeübt wird, so wird auch die Meereserosion im wesentlichen durch die von der Brandung aufgewühlten Schlamm- und Sandpartikelchen oder durch die schleifende Wirkung der hin und her geworfenen Gerölle bewirkt. Da an den Küsten der Sandsteingebiete stets beträchtliche Massen von Sand — aufgeriebenem Sandstein — von der See aufgewühlt und bei der Brandung an die Felsenküste geschleudert werden, so ist es leicht zu verstehen, wie gerade dort die Strandhöhlen so häufig vorkommen können; unterstützt wird diese Art der Erosion natürlich auch noch direkt durch die Erosion des anprallenden Wassers. Auch dann kommen, wie namentlich Fig. 32 veranschaulicht, Strandhöhlen häufig vor, wenn unter harten Gesteinslagen (*a*) sich weichere (*b*) befinden. Letztere werden alsdann leicht ausgehöhlt und von dem stehenbleibenden harten Gestein verdeckt.

Die Bildung der Strandhöhlen geht sehr häufig von Gesteinsspalten aus vor sich, weil an den Stellen, an welchen das Gestein besonders zerklüftet ist, die Abrasion einen weit geringeren Widerstand findet. Wenn aber die Abrasionstätigkeit des Meeres nirgends durch Spalten besonders begünstigt wird, dann begegnet man zuweilen an Stelle einzelner Strandhöhlen einer langgestreckten Hohlkehle — einer sogenannten Abrasionsrinne. Solche Abrasionsrinnen finden sich vielfach auch an den Karstküsten von Istrien und Dalmatien und den ihnen vorgelagerten Inseln, obwohl bei der hohen Klüftigkeit der Karstgesteine auch die Strandhöhlen naturgemäß in großer Menge dort vorkommen.

Die Strandhöhlen sind im allgemeinen ziemlich gleichartig gestaltet; sie besitzen glatte kahle Wandungen — ohne Tropfsteinschmuck — und sind zumeist von geradem oder nur wenig gekrümmtem Verlauf.

Die Tiefe der Strandhöhlen ist naturgemäß von der Gewalt der Brandung abhängig, welche sie bildet. Namentlich wird die abradierende Tätigkeit des Meeres durch die Strömung der Gezeiten unterstützt, welche in ständigem Wechsel die Meereswogen zur Küste hintreibt und wieder zurückführt. An den Küsten der offenen Weltmeere, wo die Gezeitenströmung eine höhere Bedeutung gewinnt, können daher die Strandhöhlen zuweilen ge-

waltige Dimensionen besitzen. Es gibt verschiedene Strandhöhlen, welche so tief in das Gebirge hineingehen, daß sie eine ganze Insel oder eine Festlandszunge durchbrechen. So ist beispielsweise die Landzunge, welche in dem Kap Portland, dem südlichsten Teile der Insel Island, endet, von einer großen „Tunnel-Strandhöhle" durchbohrt. Dyrhólaey (Torhöhleninsel) wird diese durch die Strandhöhle vom Festlande abgeschnittene Insel genannt. Auch die Insel Naalsö (Nadelinsel) aus der Gruppe der Faeröer ist von einer Strandhöhle durchbrochen.

Eine andere solche Strandhöhle, welche wie ein Tunnel eine ganze Insel durchquert, ist die Tunnelhöhle von Torghatten in der Nähe von Trondhjem an der norwegischen Westküste. Die von Urgestein aufgebaute Insel Torghatten ist in einer Höhe von 124 m über dem Meeresspiegel von einem horizontal verlaufenden natürlichen Tunnel durchbrochen, dessen Länge 160 m, dessen Breite 17 m und dessen Höhe am einen Ende 20 m, am anderen sogar 75 m beträgt. Die Tunnelhöhle von Torghatten ist, wie ihre beträchtliche Höhenlage über dem Meeresspiegel beweist, heute zwar keine Strandhöhle mehr, indessen ist sie als eine solche angelegt worden. Denn zur Zeit, als jene Tunnelhöhle sich gebildet hatte, lag das Land dort tiefer, es nahm also der Meeresspiegel an der norwegischen Küste damals ein weit höheres Niveau ein als heute. Die sogenannten Strandmarken [1]) an der skandinavischen Westküste legen davon ein beredtes Zeugnis ab.

Die hier genannten Beispiele von Tunnel-Strandhöhlen lassen erkennen, daß die Abrasion zuweilen gewaltige Höhlungen in die Erdrinde einzugraben vermag. Immerhin müssen wir aber auch diese Höhlen als Halbhöhlen bezeichnen, da sie sich nicht wie die echten Höhlen im Innern des Gebirges gebildet haben, sondern von außen her als nischenartige Einsenkungen angelegt sind.

Zu den Strandhöhlen müssen auch die als Felsentore bezeichneten Klippen gezählt werden, welche stehengebliebenen Torbogen gleich aus dem Meere hervorragen. Die Felsentore sind ebenso wie alle Klippen und auch die Strandhöhlen nichts anderes, als Produkte der Abrasionstätigkeit des Meeres.

---

[1]) Als Strandmarken bezeichnet man die durch die Meereserosion hervorgerufenen alten Wasserstandsmarken. Sie sind ein untrüglicher Beweis für eine ruckweise fortgeschrittene Verschiebung der Küstenlinie.

ıd-
.ne
ei-
m
l-
se
e-
r

.e
n
e
n
ı
ı
ı

Zu Seite 175.

Fig. 33.



Die Insel Staffa.

Fig. 34.



Die „Fingalshöhle“ auf der Insel Staffa.

Aus der großen Zahl der Strandhöhlen wollen wir nur noch zwei besonders hervorheben: die Fingalshöhle auf der Insel Staffa und die Blaue Grotte auf Capri.

Die Insel Staffa ist aus Basalten aufgebaut, deren unterer Teil säulenförmig abgesondert ist. Unsere Abbildung (Fig. 33) läßt die beiden getrennten Gesteinszonen deutlich nebeneinander erkennen. Die untere Zone ist die minder widerstandsfähige; daher konnten sich in ihr die Strandhöhlen bilden [1]), während die obere Zone erhalten ist und als schützendes Dach die Höhlen vor Einsturz bewahren konnte. Die Fingalshöhle ist, wie die meisten Höhlen, als Erweiterung einer großen Spalte entstanden; auf den hier wiedergegebenen Abbildungen ist diese Spalte deutlich zu erkennen. Die Fig. 34 (vgl. Tafel) gibt gleichzeitig ein Bild von der eigenartigen Schönheit der von vertikalen Basaltsäulen gebildeten Höhlenwände [2]).

Eine andere gleichfalls sehr berühmte Strandhöhle ist die „Blaue Grotte" auf Capri, welche ihren Namen von dem eigenartigen blauen Lichte hat, welches sie erfüllt. Die Blaufärbung des Lichtes in der Grotte erklärt sich wie folgt: die Höhle hat eine sehr kleine Eingangsöffnung, welche sich nur wenig über den Meeresspiegel erhebt, so daß auch nur unbedeutende Lichtmengen durch sie direkt in die Höhle gelangen. Die Hauptmasse des die Höhle erfüllenden Lichtes kommt aus der Tiefe, wo die Höhle eine gewaltig große, aber unter dem Meeresspiegel gelegene zweite Öffnung besitzt. Die Strahlen des zerstreuten Tageslichtes müssen daher, bevor sie durch diese Öffnung in die Höhle gelangen, durch eine beträchtliche Schicht Meerwasser — von über 12 m Dicke — hindurchgehen. Da das blaue Meerwasser alle Strahlen bis auf die blauen absorbiert, so muß das in der Grotte befindliche Licht blau sein.

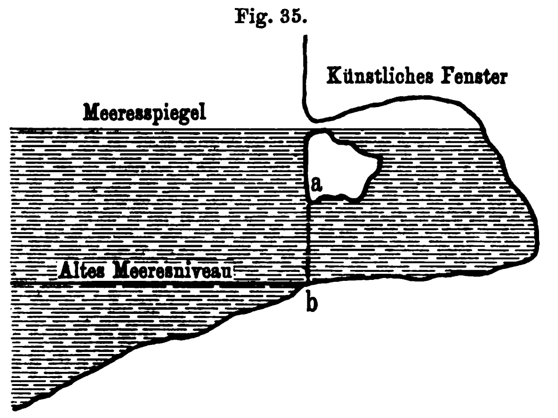
---

[1]) Außer der Fingalshöhle kommen noch andere kleine Strandhöhlen auf Staffa vor; die bekannteste ist die Cormorants Cave (Wasserrabenhöhle).

[2]) Einen ähnlichen Eindruck hat man in den „Eiskellern" von Niedermendig südlich vom Laacher See. Auch diese sind in säulenförmig abgesonderter Basaltlava gelegen, jedoch künstlich geschaffen. Die eigenartigen meteorologischen Verhältnisse in diesen „Eiskellern" werden in einem späteren Kapitel behandelt, da sie zum Verständnis der Eishöhlen wesentliche Beiträge liefern.

Die große submarine Öffnung, durch welche das blaue Licht in die Höhle gelangt, ist die Mündung einer ehemaligen Strandhöhle. Nur hat hier der umgekehrte Vorgang, wie an der norwegischen Küste, stattgefunden: der Meeresspiegel ist gestiegen, so daß die Mündung der Höhle untergetaucht ist. Die ehemals daselbst vorhanden gewesene Strandhöhle wurde von römischen Patriziern benutzt, um in ihr Kühlung vor der drückenden Schwüle der Luft bei Schirokko zu suchen. Da der Zugang zur Strandhöhle auf dem Seewege zu unbequem war, ließen sie eine Öffnung in den Berg hauen, welche vom Lande aus den Eingang in die Grotte ermöglichte. Die Grotte von Capri besaß damals

Fig. 35.



Schematisches Profil durch die „Blaue Grotte" von Capri.
a bis *b* die ehemalige Öffnung der Strandhöhle, durch welche jetzt das Licht in die Höhle dringt.

naturgemäß noch nicht die Blaufärbung des Lichtes; und man hat sie daher auch nirgends bei alten Schriftstellern erwähnt gefunden, trotzdem der in den Berg gehauene zweite Eingang mit seinen römischen Mauerresten ein beredtes Zeugnis von der häufigen Benutzung der Grotte ablegt.

Später fanden die großen Küstenschwankungen statt, denen zufolge die alte Strandhöhle unter den Meeresspiegel getaucht wurde; zufällig kam die neue Strandlinie in das Niveau des künstlich geschaffenen Fensters (vgl. Fig. 35), des jetzigen Einganges in die Grotte. In historischer Zeit ist somit die Grotte von Capri zu einer „blauen" Grotte geworden.

Da die kleine künstliche Öffnung, welche den heutigen Eingang in die Grotte darstellt, nur schwer zugänglich ist, kann es nicht wunderbar erscheinen, daß die Existenz derselben im Laufe der Jahrhunderte in Vergessenheit geraten ist, bis erst im Jahre 1826 der auf Capri weilende Maler und Dichter Aug. Kopisch sie abermals entdeckte. Seitdem bildet die Blaue Grotte von Capri einen Hauptanziehungspunkt der zahlreichen Capri besuchenden Reisenden.

Eine andere blaue Grotte befindet sich auf der Insel Busi an der Küste Dalmatiens. Sie ist indessen unbedeutender als jene von Capri; aber die Blaufärbung des die Höhle erfüllenden Lichtes ist auch dort auf die gleichen Ursachen zurückzuführen.

Die Blaue Grotte von Capri ist zwar wie alle Strandhöhlen eine Halbhöhle; es ist indessen nicht sicher, ob in den Kalken der unteren Juraformation, in welchen die Grotte sich befindet, nicht bereits früher eine echte Höhle vorhanden war, welche durch den Anprall der brandenden See erst geöffnet und somit zu einer Strandhöhle gemacht wurde. Hierfür spricht der niedrige Eingang, welcher bei Halbhöhlen selten vorkommt; bei diesen verengt sich die Höhle im allgemeinen nach ihrem hinteren Ende zu, nicht aber umgekehrt. Ferner sind in dem hinteren Teile der Blauen Grotte von Capri Kalksinterausscheidungen vorhanden, welche in Strandhöhlen sonst fehlen. Denn in diesen ist die Luft stets derart mit Feuchtigkeit übersättigt, daß keine Verdunstung und somit auch keine Sinterbildung stattfinden kann. Gleichwohl ist die Blaue Grotte stets zu den Strandhöhlen gezählt worden, und auch wir haben geglaubt, sie bei diesen erwähnen zu müssen.

Wüstenhöhlen. Eine weitere Gruppe von Halbhöhlen findet sich recht zahlreich in den Wüstengebieten der Erde; wir wollen sie daher als Wüstenhöhlen bezeichnen. In den Wüsten herrscht, wie bekannt, große Trockenheit; die einzige Feuchtigkeit ist der über Nacht fallende Tau. Dieser verdunstet indessen alsbald unter den Strahlen der Sonne. Nur auf der Abendseite eines Felsens kann die Feuchtigkeit sich längere Zeit halten. Daher wird auch hier das Gestein mit der Zeit am ehesten eine Zersetzung erfahren können; es bilden sich Verwitterungsprodukte des Felsens, welche wegen ihrer geringen Widerstandskraft leicht

vom Winde, bzw. durch die mechanische Reibung des vom Winde bewegten Sandes hinweggeführt werden. Auf diese Weise bilden sich, wie die neueren Studien von Joh. Walther in den Wüstengebieten gelehrt haben, oftmals Höhlen, welche groß genug sind, mehrere Menschen in sich aufzunehmen.

Diese Höhlen sind durch das Zusammenwirken von Korrosion und Deflation (Windwirkung) entstanden. Aber in den Wüstengebieten vermag es letztere auch allein, zuweilen Höhlen zu bilden. Diese zumeist nur sehr unbedeutenden Höhlen entstehen an minder widerstandsfähigen Teilen einer Felswand.

Überdeckungshöhlen. Zuweilen kommt es vor, daß durch Einstürze von Felsmassen eine Felsspalte oder eine klammartige Schlucht nach oben abgeschlossen wird. Solche durch „Überdeckung“ mit Gestein gebildeten Halbhöhlen werden als Überdeckungshöhlen bezeichnet. Da diese Höhlen reine Zufallsgebilde sind, haben sie weder eine geologische noch geographische Bedeutung.

Gletscherhöhlen. Eine weitere Gruppe von Halbhöhlen findet sich in den Eismassen größerer Gletscher. Bei der Fortbewegung des Gletschers wird das Eis gesprengt und auseinander gezerrt. So entstehen Höhlen, welche sich oftmals auch dadurch noch erweitern, daß von der Oberfläche des Gletschers geschmolzenes Eis hinabläuft und das Eis an den Wandungen der Höhlen zur Schmelze bringt. Fig. 36 läßt deutlich erkennen, wie zerrissen zuweilen die Oberfläche großer Gletschereismassen aussieht. Viele Tausende von Spalten durchqueren zuweilen ein Eisfeld; und viele der Spalten münden auf größere Höhlungen. Die Abbildung, Fig. 37, zeigt das Ende (Kopf- oder Stirnwand) eines großen, in das Meer ziehenden Gletschers in Alaska. Man kann daselbst, gleichsam im „Querschnitt“, die Durchsetzung der Eismassen von Höhlungen beobachten.

Diejenigen Gletscher, aus welchen Flüsse hervorgehen, besitzen oft ein Gletschertor, d. i. eine größere Höhlung im Eise, aus welcher der Fluß heraustritt. Solche Gletschertore finden sich, wie bekannt, in den meisten Gletschern der Alpen; das Tor des Rhonegletschers ist eines der bekanntesten Beispiele.

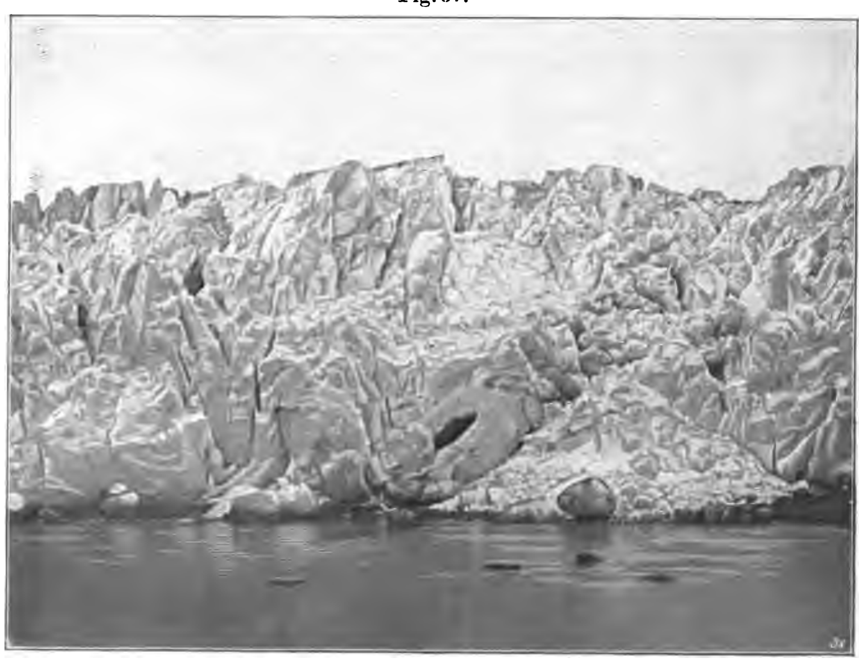
Die Gletscherhöhlen sind naturgemäß nur von vorübergehendem Bestande. Denn das Gestein, in welchem sie sich be-

Fig. 36.



Zerspaltenes Inlandeis auf Grönland.

Fig. 37.



Eishöhlen an dem Stirnrande eines Gletschers auf Alaska.

finden, das Eis ist in andauernder Bewegung, so daß die im Eise enthaltenen Höhlungen ständige Umformungen durch den Druck erleiden müssen, bis schließlich am Gletscherende das gesamte Eis abschmilzt und die darin enthaltenen Höhlen verschwinden.

Mit den Gletscherhöhlen beschließen wir die Gruppe der „Halbhöhlen". Wir haben gesehen, daß diese ganze Gruppe von geringerer geologischer Bedeutung ist, als die der echten Höhlen verkarsteter Gebiete. Auf diese muß daher die wissenschaftliche Speläologie in allererster Linie ihr Augenmerk richten. Aus diesem Grunde haben wir das Höhlenphänomen im Verein mit den anderen, damit verwandten Karstphänomenen an die Spitze unserer Studien gestellt und die Halbhöhlen folgen lassen.

Nunmehr kommen wir zu denjenigen Höhlen, welche im Gegensatz zu den bisher besprochenen, nicht erst später im Gestein, lange nach dessen Bildung, entstanden sind, sondern, welche ebenso alt wie dieses sind, welche also mit dem Gestein gleichzeitig — ursprünglich — sich gebildet haben; man benennt sie daher „ursprüngliche Höhlen".

Neunzehntes Kapitel.

Ursprüngliche Höhlen.

Riffhöhlen. — Blasenhöhlen. — Kristallkeller. — Lavahöhlen. — Entstehungsarten von Lavahöhlen. — Pseudoverkarstung in Lavagebieten.

Während die bisher besprochenen Höhlen sich sehr häufig in den Gesteinen der Erdrinde finden — wir haben ja Höhlengebiete kennen gelernt, welche von nach vielen hunderten zählenden Höhlenräumen völlig unterminiert sind — kommen die ursprünglichen Höhlen, also diejenigen, welche ebenso alt sind als das Gestein, das sie umgibt, weit seltener vor; und bezüglich vieler derselben herrscht sogar noch Zweifel, ob sie nicht der großen Gruppe der später gebildeten angehören.

Die Gesteine unserer Erde werden, wie bekannt, in Eruptivgesteine und Sedimentgesteine eingeteilt[1]). In den Sedimentgesteinen, welche aus Schlamm-, Sand- oder Geröllablagerungen des Meeres, des Süßwassers oder des Windes sich gebildet haben, können größere ursprüngliche Höhlen kaum vorkommen; nur in manchen organogenen Gesteinen finden sie sich zuweilen. Solche organogenen Gesteine sind beispielsweise die aus den Kalkabscheidungen der Korallentiere hervorgegangenen Korallenriffe. Diese Riffe bergen des öfteren zahlreiche Höhlungen in ihrem Innern, welche durch das ungleichmäßige Wachstum der Riffe entstanden sind. Diese meist nur kleinen Höhlen sind somit den „ursprünglichen" beizuzählen.

Manche jener Riffhöhlen erreichen aber auch größere Dimensionen, und bezüglich dieser größeren Höhlen ist es zweifelhaft, ob sie nicht etwa zu den „später gebildeten" Höhlen gehören. So hat beispielsweise E. Werth hinsichtlich der größeren Höhlen in den Riffkalken der Insel Sansibar mit großer Wahrscheinlichkeit darlegen können, daß diese nicht zur Gruppe der ursprünglichen Höhlen zu zählen sind, sondern daß auch sie durch die Korrosionstätigkeit des Wassers aus Klüften entstanden sind.

Die Riffhöhlen müßten, wenn sie zu den ursprünglich gebildeten Höhlen gehören, eine völlig unregelmäßige Gestalt besitzen: bald hoch, bald tief — bald eng, bald weit — bald gerade, bald mehr oder minder gebogen — bald horizontal, bald schief — so unsäglich mannigfach müßten die Formen ursprünglicher Riffhöhlen sein. Wenn aber diese großen Höhlen, wie dies meist der Fall ist, einen mehr gleichförmigen Bau besitzen, dann ist wohl anzunehmen, daß sie der großen Gruppe der später gebildeten angehören. Gleichwohl kommen aber in jedem Riffe neben den später gebildeten Höhlen sicherlich auch zahlreiche ursprüngliche Höhlen vor; nur die größeren Riffhöhlen sind aller Wahrscheinlichkeit nach gleich anderen Höhlen durch die korrodierende Tätigkeit des auf Spalten versinkenden Sickerwassers gebildet.

Von höherer geologischer Bedeutung als die Riffhöhlen sind die in Eruptivgesteinen vorkommenden ursprünglichen Höhlen. Es finden sich nämlich in den aus ehemals glutflüssigem Magma

---

[1]) Vergl. drittes Kapitel.

gebildeten Gesteinen zuweilen größere Höhlenräume, welche von allen Seiten von unzertrümmertem Eruptivgestein umschlossen werden. Man faßt diese Höhlen als ehemalige Blasenräume auf, welche große Massen vulkanischer Gase in ihrem Innern enthielten. Durch die geologischen Vorgänge in der Erdkruste sind diese ursprünglichen, wohl in größerer Tiefe gebildeten Höhlen nahe an die Oberfläche zu liegen gekommen, und es hat sich zufällig durch die subaerische Abtragung die Zugangsöffnung zu ihnen gebildet. Als Beispiele für solche Blasenhöhlen werden die verschiedenen Kristallkeller in den alpinen Schweizer Graniten angegeben, welche ihren Namen von den zahlreichen Quarzkristallen haben, welche an den Wandungen der Höhle ausgeschieden sind [1]).

Neben jenen als „Blasenhöhlen" bezeichneten Hohlräumen in Eruptivgesteinen finden sich in den zu stromförmigem Erguß gelangten Laven auch des öfteren Höhlungen, welche zwar ebenfalls zur Gruppe der ursprünglichen Höhlen gehören, die aber, ihrer Entstehung nach, erheblich von den zuerst genannten Blasenhöhlen abweichen. Wir können diese Höhlen kurzweg als Lavahöhlen bezeichnen. Ihre Bildung ist eine sehr einfache; sie entstehen dann, wenn unter der bereits erstarrten und völlig verfestigten Oberfläche eines größeren Lavastromes die in der Tiefe befindliche, noch glutflüssige Lava weiter talabwärts fließt oder aber, wie Verfasser dies auf Island wiederholt beobachten konnte, indem Teile der Lava auf Spalten in die Tiefe dringen.

---

[1]) In den kleineren Blasenhöhlungen, welche in manchen Porphyren und Melaphyren vorkommen, hat sich vielfach Chalcedon oder Achat ausgeschieden, und zwar oft in solcher Menge, daß die ganze Blasenhöhlung von diesem Mineral erfüllt ist. Solche Neuausscheidungen von Mineralsubstanz in vorhandenen Hohlräumen werden als **Sekretionen** bezeichnet. Die sogenannten Achatmandeln, welche in den porphyrischen Gesteinen in der Nähe von Oberstein a. d. Nahe vorkommen, sind sehr bekannte Beispiele solcher Sekretionen. Wenn man alle Ausscheidungen von Gestein in vorhandenen Gesteinshöhlungen als Sekretionen bezeichnet, dann gehören naturgemäß auch die Tropfsteine, die Erz- und Mineralgänge usw. zu ihnen. Im geologischen Sprachgebrauch versteht man aber unter Sekretionen in erster Linie wenigstens die kleineren Mineralausscheidungen, wie sie uns beispielsweise in den Chalcedonknollen mancher Porphyre entgegentreten.

Der auf diese Weise gebildete Hohlraum ist natürlich zunächst verborgen und nur durch ein zufälliges Ereignis, z. B. durch einen Deckensturz in der Höhle, wird der Eingang geschaffen; da diese Einsturzdolinen, durch welche man in jene Höhlen zumeist gelangt, gewöhnlich sehr eng sind, so sind auch die meisten der Lavahöhlen sehr schwer zugänglich.

Die Bildungsdauer der Lavahöhlen ist im Gegensatz zu jener anderer Höhlen eine sehr kurze. Während die Bildungsdauer der durch die Korrosion geschaffenen Höhlen nach vielen Jahrtausenden zählt, bilden sich die Lavahöhlen innerhalb weniger Tage oder gar Stunden[1]. Lavahöhlen sind aus fast allen vulkanischen Gebieten bekannt[2].

Eine der berühmtesten Lavahöhlen ist der „Surtshellir" nordwestlich von Lang Jökull auf Island. Ihre Länge beträgt nicht weniger als 1500 m. Die Gestalt des Surtshellir ist die eines Tunnels von fast geradem Verlauf. Die Höhle hat sich gebildet, wie die Beobachtungen der Verfasser ergeben haben, indem Lava auf einer Spalte nach der Tiefe geflossen ist. Die Spalte ist durch ein Erdbeben unter dem nur oberflächlich erstarten Lavafelde aufgerissen. Solcher Erdbebenspalten finden sich zahlreiche auf Island.

In den Lavadistrikten größerer Vulkangebiete findet sich auch eine andere Erscheinung, welche ebenso wie die Höhlenbildung auch in Karstgebieten allgemein verbreitet ist — nämlich eine höhere Zerklüftung, welche zur Folge hat, daß die über ein Lavafeld hinwegziehenden Wasserläufe in die Tiefe versinken, um nach größerer Entfernung wieder hervorzutreten. Ebenso wie in den Karstgebieten ist also auch in manchen Lavagebieten die Entwässerung von der Oberfläche in die Tiefe verlegt;

---

[1]) Was von den Lavahöhlen hinsichtlich ihrer Bildungsdauer gesagt ist, darf nicht etwa auch auf die „Blasenhöhlen" übertragen werden. Die Bildungsdauer der Blasenhöhlen ist nicht abzuschätzen, da jeder Anhaltspunkt fehlt, die Zeit zu berechnen, während welcher das glutflüssige Magma sich soweit abgekühlt hatte, daß der Hohlraum mit festen Wandungen entsteht.

[2]) Da an der Decke der Lavahöhlen bei deren Entstehung oftmals etwas zähflüssige Lava haften geblieben ist, welche nur sehr langsam erstarren konnte, haben sich vielfach Lavazapfen gebildet, welche an die Stalaktiten der Tropfsteinhöhlen erinnern, und daher auch als Lavastalaktiten bezeichnet werden.

man kann aber auf den Lavafeldern nur von einer „Pseudo-Verkarstung" reden, da der Übergang von der Horizontalentwässerung in die Vertikalentwässerung — also die Verkarstung — in den Karstgebieten auf andere Ursachen zurückzuführen ist. Ist es doch eine ganz andere Art von Zerklüftung, als die, welche in Karstgebieten sich findet.

Wir können, wie bereits früher hervorgehoben ist, die Zerklüftung des Gesteines entweder auf endogene oder exogene Ursachen zurückführen. In den Karstländern ist die Zerklüftung auf die gebirgsbildenden — also exogen wirkenden — Kräfte zurückzuführen. Die Zerklüftung der Lava aber ist im allgemeinen[1]) endogen. Die Spalten bilden sich bei der Erstarrung des glutflüssigen Schmelzflusses infolge der dabei stattfindenden Schrumpfung. Denn ein jeder Körper dehnt sich bei der Erwärmung aus und zieht sich umgekehrt bei der Abkühlung zusammen. Die Kontraktion hat zur Folge, daß das Gestein zerreißt und klaffende Spalten entstehen. Jene oft in großer Zahl gescharten Sprünge sind es, welche das Wasser jener Flüsse verschlucken, die über die Lavafelder hinwegfließen. Unterirdisch rinnt das Wasser auf diesen Spalten weiter, bis es an einer anderen Stelle als neue Quelle wieder zutage tritt. In beschränktem Maße wird das Wasser dabei auch die Lavaspalten zu Höhlen erweitern können — jedoch in sehr viel geringerem Maße, als dies in den vom Wasser verhältnismäßig leicht auflösbaren Karstgesteinen der Fall wäre; denn die Laven gehören zu den am schwersten löslichen Gesteinen der Erdrinde.

Mit den „ursprünglichen Höhlen" beschließen wir die Studien über das Höhlenphänomen und dessen Entstehung. Wir wenden uns nunmehr den anderen naturwissenschaftlichen Beobachtungen und Problemen zu, welche an das Vorhandensein des Höhlenphänomens sich knüpfen. Die Speläologie liefert, wie in der Einleitung bemerkt, Beiträge zur Meteorologie, zur Biologie

[1]) „Im allgemeinen" — denn auch in Lavafeldern könnten die gebirgsbildenden Kräfte gelegentlich die Zerklüftung exogen veranlassen.

und zur Vorgeschichte des Menschen. Die Beziehungen der Speläologie zu diesen Zweigwissenschaften der Naturkunde sollen im folgenden in kurzem Zusammenhange erörtert werden.

Zwanzigstes Kapitel.

Meteorologische Verhältnisse in Höhlen.

Temperatur. — Tief gelegene Höhlen. — Eishöhlen. — Bedingungen zur Existenz perennierender Eishöhlen. — Eisbildung im Winter, Mangel an Ventilation, sackförmige Gestalt und schwache Wasserzufuhr in Eishöhlen. — Schwalbes Unterkühlungstheorie der Sickerwasser. — Ältere Erklärungsversuche des Höhleneises. — Bekannte Eishöhlen. — Künstliche Eishöhlen. — Ventilation in Höhlen. — Höhlenluft. — Elektrisches Verhalten der Höhlenluft.

Temperatur. Die meteorologischen Verhältnisse der in den Höhlen enthaltenen Luft bieten in mancher Hinsicht größeres Interesse. Namentlich gilt dies in bezug auf die Temperaturverhältnisse in den Höhlen. Im allgemeinen zwar verhält sich die Höhlentemperatur ähnlich der tiefer Keller; im Winter erscheinen sie uns warm und im Sommer kalt, obgleich ihre Temperatur in Wirklichkeit sich — im allgemeinen wenigstens — so gut wie gar nicht ändert.

Die Höhlen befinden sich nämlich zumeist in jener Tiefe, bis zu welcher weder die Hitze des Sommers, noch die Kälte des Winters hinabzudringen vermag. Die Temperatur der im Innern des Gebirges in Höhlen eingeschlossenen Luft macht also die Temperaturschwankungen der freien Luft im allgemeinen nicht — oder zum mindesten nicht in gleichem Maße — mit: die Höhlen besitzen daher zumeist eine konstante Temperatur[1]).

[1]) G. And. Perko hat beispielsweise in einer großen bei Triest gelegenen Grotte, dem sogenannten Dom der Triester Touristen, eine Reihe von Temperaturmessungen gemacht, welche zwar ergeben haben, daß die Temperatur in verschiedenen Teilen der Höhle eine ver-

Anders aber würde es sich dann verhalten, wenn in den Höhlen eine reichliche Ventilation stattfinden kann. In einem solchen Falle wird die Temperatur der Höhlenluft naturgemäß durch die Außenluft stark genug beeinflußt, so daß auch in der Höhlenluft Temperaturschwankungen vorkommen können. Gleichwohl aber werden diese weit geringer sein, als jene der Außenluft. Die meisten Höhlen haben jedoch nur eine geringe Ventilation und besitzen daher, wie schon gesagt, eine annähernd konstante Temperatur; und zwar weicht diese nur wenig von der mittleren Jahrestemperatur des Ortes, an welchem die Höhle gelegen ist, ab. Abgesehen von den wenigen, durch gute Ventilation ausgezeichneten Höhlen, ist nur noch in zwei besonderen Fällen eine größere Differenz zwischen der Höhlenluft und der mittleren Jahrestemperatur; dies ist der Fall: 1. bei den sehr tief gelegenen Höhlen; 2. bei den Eishöhlen.

Die zuerst genannten tief gelegenen Höhlen besitzen eine höhere Temperatur, als die mittlere des Jahres. Dies erklärt sich dadurch, daß die Temperatur nach dem Erdinnern zu stetig zunimmt. Die geothermische Tiefenstufe — d. i. diejenige Strecke, um welche man ins Erdinnere eindringen muß, damit die Temperatur um 1° C ansteigt — beträgt durchschnittlich etwa 30 m. In den Höhlen also, welche in größerer Tiefe unter der Erdoberfläche sich befinden, und welche in ungenügender Verbindung mit der Außenluft stehen, ist die Lufttemperatur um mehrere Grade höher, als die mittlere Jahrestemperatur. Es ist indessen wohl zu berücksichtigen, daß die Temperatur der Luft in den Höhlen nicht in gleichem Maße ansteigen kann, als die des Gesteines; denn infolge des niemals gänzlich fehlenden Luftaustausches kann in den Höhlen die geothermische Tiefenstufe nicht ganz zum Ausdruck kommen. Die Luft der Höhlen steht doch wohl stets auch dann, wenn die Ventilation eine minimale ist, in Verbindung mit der Außenluft; es wird somit die warme Luft aus der Tiefe ihres geringeren spezifischen Gewichtes wegen emporsteigen, während umgekehrt die kalte Luft hinabfällt. Auf diese Weise wird sich

schiedene ist, an dem gleichen Orte aber nur wenig wechselt, obwohl die Beobachtungen sowohl im Winter bei — 2° C als auch im Sommer bei + 29° C angestellt wurden. Die Temperatur schwankte nur zwischen 11° und 12° (vgl. G. And. Perko: Die Riesengrotte bei Triest-Opcina. Globus 1906).

oft ein vollständiger Ausgleich zwischen warmer Tiefenluft und kühlerer Außenluft herstellen können; gleichwohl wird im allgemeinen die Temperatur der Luft in tiefen Höhlen etwas höher als die mittlere Jahrestemperatur des Ortes.

Wesentlich verändert wird die Höhlentemperatur naturgemäß auch durch die Anwesenheit von Wasser, insonderheit dann, wenn dieses Wasser einem unterirdischen Flußlauf angehört, dessen Temperaturverhältnisse ja stets, je nach der Jahreszeit, beträchtlichen Schwankungen unterworfen sein müssen. So kann ein Höhlenfluß abwechselnd die Temperatur der Höhlenluft erhöhen oder aber auch erniedrigen.

Es ist zu bedauern, daß bisher nur so wenig genaue Temperaturbeobachtungen vorliegen. Außerdem verlieren viele der Beobachtungen noch an Wert, da in ihnen die Temperatur der Außenluft nicht mit berücksichtigt ist, so daß ein Vergleich beider Luftarten nicht angestellt werden kann. Während nun die Höhlentemperatur der mittleren des Jahres entspricht, oder aber, wie wir gesehen haben, in den tief gelegenen Höhlen eine höhere sein kann, so kommen andererseits auch Fälle vor, wo die Höhlentemperatur umgekehrt eine geringere ist, als die mittlere an der Oberfläche. Besonders auffällig ist dies bei den Eishöhlen der Fall.

Die Eishöhlen gehören zu den eigenartigsten Phänomenen, welche wir kennen. Denn gewiß ist es eine seltsame Erscheinung, wenn sich zur Zeit der sogenannten Hundstage, wo an der Oberfläche eine erdrückend heiße Temperatur herrscht, in manchen der Höhlen im Innern des Gebirges große Mengen von Eis vorfinden. Indessen ist die Entstehung sehr einfach.

Die Eishöhlen bilden sich aus den gewöhnlichen Höhlen stets da, wo durch örtliche Verhältnisse zweierlei bewirkt wird, nämlich: 1. daß zur Winterszeit sich Eis in den Höhlen bilden kann; 2. daß die Sommerwärme nicht imstande ist, das im Winter in den Höhlen gebildete Eis zur Schmelze zu bringen. Wir wissen, daß bei der in Höhlengebieten herrschenden Vertikalentwässerung große Mengen Wassers auf den Gesteinsspalten in die Tiefe sickern. Wenn nun unter gewissen Umständen die Höhlentemperatur im Winter unter den Gefrierpunkt hinabsinkt, so wird das in die Höhle dringende Wasser verfestigt. Das so gebildete Eis kleidet

die Wandungen der Höhle mit jenen prächtigen Eisgebilden aus, wie sie in unseren Abbildungen dargestellt sind. Namentlich

Fig. 38.



Der „Wasserfall“ in der Dobschauer Eishöhle (nach J. A. Krenner).

interessant ist der sogenannte „Wasserfall“ der Dobschauer Eishöhle (vgl. Fig. 38), welcher an die „versteinerten Wasserfälle“

der Höhlen erinnert, nur daß er nicht aus Kalksinter, sondern aus Eis besteht.

Eine zum Gefrieren des Sickerwassers hinlänglich starke Abkühlung findet im Winter erstens in den Höhlen statt, welche durch gute Ventilation mit der Außenluft verbunden sind. Aber diese Höhlen können naturgemäß deswegen nicht zu echten Eishöhlen werden, weil durch die Ventilation ja auch die Sommerluft in die Höhle gelangt, welche das Eis wieder zum Schmelzen bringt.

Zweitens findet eine starke winterliche Abkühlung in denjenigen Höhlen statt, welche, durch einen weiten Luftschacht mit der Außenwelt verbunden, sich sackartig in die Tiefe erstrecken. In den so gebauten Höhlen würde im Winter die spezifisch leichtere Höhlenluft emporsteigen, während gleichzeitig die kalte, und somit spezifisch schwerere Außenluft in die Tiefe fällt und dort die in der Höhle befindlichen Sickerwasser zum Gefrieren bringt.

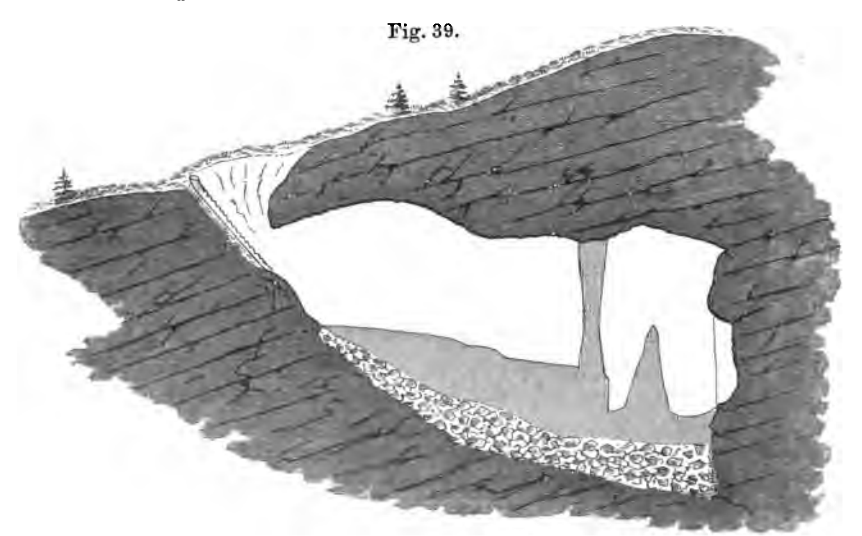
In den meisten Fällen wird das im Winter gebildete Eis von der Sommerwärme wieder völlig aufgetaut, so daß die Höhle im Herbst wieder ihr gewöhnliches Antlitz besitzt. Mitunter reicht aber die Wärme eines Sommers nicht aus, um das gesamte im Winter gebildete Eis zu schmelzen; es bleibt dann ein Überrest an Eis. In dem darauf folgenden Winter bildet sich eine weitere Menge Eis, welche, mit dem Eisrückstand des Vorjahres vereinigt, im folgenden Sommer noch viel weniger geschmolzen werden kann. So bleibt Jahr um Jahr ein stetig anwachsender Überschuß an Eis zurück. Vorausgesetzt, daß immer genügend Wasser in die Höhle dringen kann, würde sich die gesamte Höhle allmählich mit Eis erfüllen. Dies kann indessen kaum stattfinden, da das Eis wohl auch die Spalten verstopfen würde, auf denen das Wasser in die Tiefe rieseln kann.

Die näheren Entstehungsbedingungen von jenen *perennierenden Eishöhlen* werden wir im folgenden betrachten müssen.

Die Hauptbedingung zur Bildung von Eishöhlen ist naturgemäß die, daß die Höhle in einem *Gebiet gelegen ist, in welchem im Winter Temperaturen unter 0 Grad vorkommen.* Demgemäß werden in den äquatorialen Zonen unseres Erdballes Eishöhlen nicht vorkommen können, oder aber nur auf die kältesten Teile der Hochgebirge beschränkt sein.

Die zweite Bedingung zur Bildung einer Eishöhle ist, daß die Höhle sich in die Tiefe erstreckt. Denn nur in diesem Fall vermag in den kalten Zeiten des Jahres oder des Tages die abgekühlte — mithin schwerer gewordene — Luft auf den Boden der Höhle hinabzusinken, während die ursprünglich wohl wärmere, somit auch spezifisch leichtere Höhlenluft emporgetrieben wird. Auf diese Weise sammelt sich stets am Boden einer solchen, zumeist mehr oder weniger sackförmig gestalteten Höhle (vgl. Fig. 39) die kalte Luft an. Sinkt nun die Außentemperatur unter 0° herab, so wird auch die Höhlenluft

Fig. 39.



Schematisches Profil durch die sackförmig gestaltete Eishöhle am Beilstein in Steiermark (nach Fr. Kraus).

derart abgekühlt, daß die in eine jede Höhle gelangenden Sickerwasser zu Eis erstarren. Das Höhleneis scheidet sich dann an den Höhlenwandungen in gleicher Weise ab wie die Sintergebilde der Tropfsteinhöhlen.

Abgesehen von der für die Bildung von Eishöhlen erforderlichen Vertikalausdehnung des Höhlensystems, ist noch eine weitere dritte Bedingung zur Bildung des Eises notwendig: in der Höhle darf keine starke Ventilation vorhanden sein. Denn sobald diese in höherem Maße stattfindet, dann

müßte ein Temperaturausgleich zwischen der kalten Höhlenluft und der warmen Außenluft eintreten, welcher notwendigerweise das Höhleneis zum Schmelzen bringen würde; daher entbehren die meisten Eishöhlen der Ventilation.

Ebenso wie der Zutritt von Luft die Erhaltung des Höhleneises namentlich im Sommer verhindert, so wirkt auch starker Wasserandrang zerstörend auf das Eis. Denn das von der Oberfläche in die Tiefe dringende Wasser besitzt ungefähr die gleiche Temperatur wie die Außenluft; das Wasser würde somit das Eis zum Schmelzen bringen. Die Ansammlung von Eis ist somit nur in den Höhlen möglich, welchen wenig Wasser zugeführt wird — nicht mehr Wasser, als in Eis verwandelt werden kann. Nach dem Gesagten ist also die Eisbildung in Höhlen an die folgenden vier Hauptbedingungen geknüpft:

1. Lage der Höhle in einem Gebiet mit Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes.
2. Sackförmige Gestalt der Höhle mit beträchtlicher Vertikalerstreckung, so daß kalte schwere Luft in die Tiefe dringen kann.
3. Fehlen der Ventilation.
4. Schwache Zufuhr von Wasser, welche nur dazu ausreichen darf, die Bildung neuen Eises zu veranlassen.

Neben diesen vier, zur Bildung des Eises in den Eishöhlen durchaus erforderlichen Hauptbedingungen, sind auch zuweilen noch andere Umstände vorhanden, welche auf die Eisbildung von Einfluß sind, so z. B. die Lage einer Höhle im Gelände. An den Nordgehängen eines Berglandes, wo die Sonne in geringerem Maße den Boden erwärmt, wird nämlich die Höhlenluft am ehesten ihre niedere Temperatur bewahren können. Daher kommt es, daß die meisten Eishöhlen an der Nord- oder Nordostseite eines Berges gelegen sind.

Die Beschränkung der Eisbildung auf jene wenigen Höhlen, welche alle die genannten Vorbedingungen erfüllen, läßt erkennen, warum die Eishöhlen verhältnismäßig nur selten vorkommen, während eisfreie Höhlen so ungemein zahlreich im Innern der höhlenführenden Gebirgsarten vorhanden sind.

Eine von der gegebenen Erklärung des Phänomens der Eisbildung in Höhlen abweichende wurde von B. Schwalbe aufgestellt. In seiner Theorie wird die Eisbildung darauf zurückgeführt, daß das Wasser auf seinem Wege durch die zahlreichen Haarspalten der Felsgesteine eine derart starke Abkühlung erfährt, daß es „unterkühlt“ wird, und, in diesem Zustande in die Höhlen des Gebirges eindringend, zu Eis erstarrt.

Es war schon lange bekannt, daß das Wasser beträchtliche Temperaturänderungen erfährt, sobald es durch poröse Körper hindurchsickert; die von Schwalbe jun. neuerdings ausgeführten Experimente haben nun dargetan, daß bei Temperaturen unter 4° C eine Abkühlung eintritt, während umgekehrt bei Temperaturen über 4° Erwärmung stattfindet.

Man könnte demnach die Eisbildung in Höhlen nur in denjenigen Gebieten auf die Unterkühlung des Sickerwassers zurückführen, in welchen eine nur sehr geringe Bodentemperatur herrscht. In der Tat finden sich ja auch die meisten Eishöhlen in Gebieten, deren mittlere Jahrestemperatur eine nur geringe ist; indessen kommen sie auch anderwärts vor, und diese Eishöhlen beweisen dann, daß ihre Bildung auf andere Ursachen zurückzuführen ist.

Wenn auch die Schwalbesche Theorie der Bildung des Höhleneises in vielen Fällen physikalisch wohl denkbar sein mag, so ist aber, vom geologischen Standpunkte aus, doch verschiedenerlei gegen sie einzuwenden. Denn das in die Höhlen gelangende Wasser ist nicht durch feine Haarrisse in die Höhle eingetreten, sondern — im allgemeinen wenigstens — auf größeren Spalten herabgerieselt. Wir wissen ja, daß die überwiegende Mehrzahl aller Höhlen durch Erweiterung von Spalten im Gestein entstanden ist. Auf diesen Spalten kann natürlich das Wasser niemals die zur Eisbildung erforderliche Abkühlung erfahren. Aber selbst wenn das in die Höhle dringende und zu Eis erstarrende Wasser auf Haarspalten in die Höhle gedrungen wäre, so wäre dennoch die Frage aufzuwerfen, ob dieses Wasser in dem Maße unterkühlt wäre, daß es von selbst zu Eis erstarren würde. Denn es ist sehr zweifelhaft, ob die wenigen Kapillarspalten eines festen Gesteines die gleiche abkühlende Wirkung auf hindurchsickerndes Wasser ausüben, wie die zahllosen Hohlräume zwischen den Körnern jenes

lockeren Sandes, mit welchem die genannten Experimente angestellt wurden.

Wir glauben somit die Eisbildung in Höhlen — im allgemeinen wenigstens — dadurch erklären zu müssen, daß in den Eishöhlen lediglich durch örtliche Verhältnisse die Möglichkeit zur Erhaltung von Wintereis das ganze Jahr hindurch gegeben ist. Die Bedingungen, unter welchen dies stattfinden kann, haben wir bereits zuvor erörtert.

Von den beiden hier eingehender behandelten Theorien zur Erklärung des Höhleneises abgesehen — nämlich, der von uns angenommenen Deutung der Eishöhlen als Orte der Aufspeicherung von Winterkälte und der Schwalbeschen Erklärung der Eisbildung durch überkältetes Sickerwasser —, sind auch noch andere Erklärungsversuche für dieses merkwürdige Phänomen gemacht worden. So glaubte man die Eisbildung als eine Folge der Wärmeentziehung bei starker Verdunstung ansehen zu können — ein Vorgang, der sich in lockeren Schuttmassen befeuchteter Gesteine mitten im Sommer tatsächlich des öfteren vollzieht — der indessen nicht die Bildung des Höhleneises veranlassen kann. Wieder andere haben versucht, die Massen von Höhleneis als Kältereste aus der Eiszeit erklären zu dürfen, eine Ansicht, welche aber bereits im Jahre 1743 widerlegt war; denn man hatte eine große Eishöhle bei Chaux les Passavants im Jahre 1727 völlig ausgeräumt und fand sie im Jahre 1743 wiederum mit großen Massen Eises erfüllt. Ähnliche Beobachtungen sind seitdem oftmals gemacht, so daß dieser Erklärungsversuch des Höhleneises nur noch historisches Interesse besitzt.

Gleiches gilt von der Erklärung des Höhleneises infolge der durch Salzlösungen bewirkten Abkühlung; denn eine derartige Kältequelle, wie sie in den Laboratorien durch Salzlösungen bereitet wird, kann in der Natur nicht auftreten.

Aus der großen Anzahl der bekannten Eishöhlen seien hier nur kurz folgende genannt: Die Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg, welche durch die trefflichen Untersuchungen von Prof. E. Fugger in Salzburg weiteren Kreisen bekannt sind, ferner die berühmte Dobschauer Eishöhle in Ungarn, die Eishöhle bei Besançon im Schweizer Jura, in Steiermark (Beilstein-

Fig. 40.



Eishöhle des Creux-Percé (nach E. A. Martel).

höhle bei Gams) und andere mehr. Bekannt sind ferner auch die Eishöhlen im Nanosgebirge und anderen Teilen des Birnbaumer Waldes, im nördlichen Teil des Krainer Karstes. Die in unserer Abbildung dargestellte Höhle des Creux-Percé (Fig. 40) ist am Boden eines Dolinenschachtes befindlich; sie besitzt also die zur Ansammlung von kalter Luft, und somit zur Bildung des Höhleneises geeignetste Gestalt, welche man sich denken kann.

Bevor wir den Abschnitt über Höhlentemperatur beschließen, sei nur noch der künstlichen Eishöhlen kurz Erwähnung getan. Es finden sich nämlich in vielen vom Bergbau geschaffenen künstlichen Hohlräumen die gleichen Bedingungen, welche wir als die zur Bildung von Eishöhlen erforderlichen kennen gelernt haben. In solchen Höhlungen kann sich naturgemäß ebenfalls das im Winter gebildete Eis das ganze Jahr hindurch halten; ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür sind die Eiskeller von Niedermendig, südlich vom Laacher See, welche in den abgebauten Kammern der Basaltwerke von Niedermendig gelegen sind. Die in den verlassenen Bergwerkskammern enthaltene kalte Luft fällt durch die zahlreichen ehemaligen Schächte in die Tiefe und kann infolge der ungenügenden Ventilation sich nicht mit der warmen Außenluft, welche den Sommer hindurch über Schachtöffnungen sich befindet, vermischen.

Die Ventilation in Höhlen. Wir haben bisher wiederholt der Ventilation in den Höhlen gedenken müssen. So ist gezeigt worden, daß die Tropfsteinbildung von dem Grade der Ventilation abhängig ist. Denn die Tropfsteinausscheidung in Höhlen ist erst durch die in vielen Höhlen eintretende Verdunstung ermöglicht; die Verdunstung ist aber ihrerseits wieder durch die Ventilation bedingt. Infolgedessen findet bei stärkerer Ventilation auch stärkere Ausscheidung von Kalksinter statt.

Den umgekehrten Einfluß übt die Ventilation auf die Eisbildung aus, wie wir zuvor gesehen haben. Denn die stärkere Ventilation ermöglicht eine Vermischung der Höhlenluft mit der Außenluft, mithin auch einen Ausgleich der Temperatur zwischen beiden; es kann sich bei guter Ventilation somit auch nicht das Höhleneis in der warmen Jahreszeit erhalten.

Auf die Temperaturverhältnisse ist in erster Linie die Ventilation von Einfluß. Je nach der Möglichkeit des Aus-

tausches zwischen Höhlenluft und Außenluft wird die Höhlentemperatur, **in größerem oder geringerem Maße verzögert,** die Temperaturschwankungen der freien Luft wiederholen.

Die Ventilation ist — von ihrem Einfluß auf die Tropfsteinbildung abgesehen — von nur geringer geologischer Bedeutung; und da wir die Bedeutung der Ventilation für die Tropfsteinbildung bereits erörtert haben (vgl. Kap. VI), so erübrigt es, weiterhin auf die Ventilationsverhältnisse noch einzugehen.

Die Höhlenluft. Die in den Höhlen enthaltene Luft ist im allgemeinen chemisch nicht von der freien atmosphärischen Luft unterschieden. Nur in den Lavahöhlen ist die Luft zuweilen mit den von Vulkanen ausgehauchten Gasen erfüllt. Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, schweflige Säure und andere gasförmige Substanzen verunreinigen in diesem Falle die normale aus einem Teil Sauerstoff und drei Teilen Stickstoff bestehende Luft jener Höhlen.

Von höherem Interesse als das chemische Verhalten der Höhlenluft ist ihr physikalisches. Die Höhlenluft besitzt nämlich in hohem Maße jene Eigentümlichkeit, die Elektrizität zu leiten. Ein in eine Höhle gestelltes Elektroskop wird infolgedessen ziemlich schnell seine Elektrizität abgeben. Die hohe Leitungsfähigkeit der unter der Erdoberfläche befindlichen Luft ist erst in neuerer Zeit erkannt; man bezeichnet die Luft als ionisiert.

Die meteorologischen Verhältnisse in den Höhlen sind — im Vergleich zu der hohen Bedeutung, welche die Meteorologie für andere Teilgebiete der physischen Geographie besitzt — nur unwichtig; wir haben daher nur in sehr beschränktem Maße ihrer gedenken können.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Die biologischen Verhältnisse in Höhlen.

Abweichende Lebensverhältnisse in Höhlen. — Gruppen von Höhlenbewohnern: Troglophilen, Troglobien, zeitweilige Höhlenbewohner. — I. Höhlenflora. — Pilze. — Bakterien. — Schattenpflanzen. — Algenflora der Strandhöhlen. — II. Höhlenfauna. — Echte Troglobien. — Rückbildungen der Gesichtsorgane von Troglobien. — Albinismus. — Vertreter der Höhlenfauna aus den Klassen des Tierreiches. — Troglophilen und zeitweilige Höhlenbewohner.

Die meisten Höhlen sind von Lebewesen bewohnt; es existiert in den Höhlen eine besondere Flora und Fauna. Die Lebensbedingungen für die in Höhlen befindlichen Pflanzen und Tiere sind naturgemäß wesentlich andere, als an der Oberfläche. Denn einmal fehlt den meisten Höhlen das Tageslicht völlig, sodann aber weichen auch die Temperaturverhältnisse wesentlich von jenen an der Oberfläche ab. Die Höhlentemperatur ist nämlich, wie wir gesehen haben, nur sehr viel geringeren Schwankungen unterworfen, als die Außentemperatur. Diese geringeren Temperaturschwankungen wären der Entwickelung einer unterirdischen Lebewelt zwar günstig, nicht aber die Lichtverhältnisse. Denn im allgemeinen ist das Licht ein unbedingtes Erfordernis für die Pflanzen sowohl als auch für die Tiere. Nur verhältnismäßig wenige Lebewesen haben sich daher an die in Höhlen herrschende Dunkelheit gewöhnen können; dabei haben sie zuweilen auch beträchtliche Umwandlungen ihres Körpers erfahren, auf welche wir noch zurückzukommen haben.

Die höhlenbewohnenden Tiere und Pflanzen lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

1. In Troglophilen, das sind Tiere und Pflanzen, welche zwar auch außerhalb der Höhlen vorkommen, die Höhlen aber als Wohnorte bevorzugen.

2. In Troglobien oder echte Höhlenbewohner, das sind Tiere und Pflanzen, welche sich nur in Höhlen finden.

3. In zeitweilige Höhlenbewohner, das sind Tiere, deren Lebensbedingungen außerhalb der Höhlen liegen, welche daher nur zu gewissen Zeiten die Höhlen als Wohnstätten aufsuchen (z. B. Raubtiere, Fledermäuse, Menschen usw.).

Hinsichtlich der Höhlenbewohner könnte man noch zwischen solchen einen Unterschied machen, welche nahe dem Eingang sich aufhalten, woselbst noch ein wenig Tageslicht in die Höhle gelangt, und solchen, die nur in der Dunkelheit sich aufhalten, deren Leben so vollkommen sich dem Lichtmangel angepaßt hat, daß das Licht auf sie sogar schädlich wirken würde.

Es soll im folgenden kurz der wichtigsten Höhlenbewohner und ihrer Eigentümlichkeiten gedacht werden.

I. Höhlenflora. Die Flora der Höhlen kann sich nur auf diejenigen Pflanzengruppen beschränken, denen das Chlorophyll (Blattgrün) abgeht; denn die chlorophyllhaltigen Pflanzen bedürfen des Lichtes, um aus der Kohlensäure der Luft den Pflanzenkörper aufzubauen. Wie die Experimente gelehrt haben, sind nur einige Vertreter der großen Klasse der Pilze imstande, dauernden Lichtmangel zu ertragen. Solche hat man denn auch vielfach in den Bergwerken, tiefen Brunnenschächten usw. gefunden. Schon im Jahre 1793 hat Alexander v. Humboldt eine Reihe von Pilzen aus den Freiberger Bergwerken abgebildet. Seitdem ist die Zahl jener in Bergwerken bekannten Pilzformen um ein beträchtliches gewachsen.

In den natürlichen Höhlen finden sich weit seltener Pilze, da in ihnen nicht wie in den Bergwerken Holz oder andere verfaulende Stoffe, welche für die Pilze den Nährboden abgeben, in großer Menge vorhanden sind. Nur in jenen Höhlen, in welchen ein Fluß verschwindet, der Holzstämme oder Reisig ins Innere des Gebirges führt, können jene „Höhlenpilze“ auf natürlichem Wege reichlichere Nahrung finden. In denjenigen Höhlen, welche durch Holzzimmerung dem Fremdenbesuch zugänglich gemacht sind, kann man auf den Holzteilen vielfach den Fäden von Pilzen insonderheit der sogenannten Schimmelpilze, begegnen.

Die in Höhlen vorkommenden Pilzarten bilden aber keine Höhlenflora im engeren Sinne, da ihr Vorhandensein keineswegs allein auf die Höhlen beschränkt ist; die sogenannte Höhlenflora besteht aus Troglophilen, nicht aber aus Troglobien. Eine echte Höhlenflora, welche der später zu besprechenden Höhlenfauna an

die Seite zu stellen wäre, ist bis jetzt noch nicht bekannt. Die Höhlen sind indessen noch viel zu wenig in dieser Richtung erforscht, als daß ein abschließendes Urteil hierüber gefällt werden kann.

Zu den Pflanzen, welche oftmals in Höhlen oder mehr noch in Höhlenflüssen vorkommen, gehören auch die Bakterien. Wenn auch eingehendere Untersuchungen hierüber zurzeit noch fehlen, so ist doch das Vorhandensein solcher mit Sicherheit anzunehmen. Denn man hat sehr häufig feststellen können, daß das Eindringen schädlicher Bakterien in unterirdisch kursierendes Wasser Verpestungen der Quellen verursacht hat. Die zahlreichen Typhusepidemien in alter und neuer Zeit legen beispielsweise hiervon Zeugnis ab. Aber auch jene in Höhlen vorkommenden Bakterien sind nicht Troglobien, sondern nur gelegentliche Höhlenbewohner.

Noch weniger gehören diejenigen Pflanzen zur Höhlenflora, welche sich oftmals am Eingang der Höhlen finden; hierzu gehören zahlreiche Schattenpflanzen, welche ebensogut auch außerhalb der Höhlen in dunkeln Felsspalten oder im Waldesschatten gedeihen können.

Von Interesse ist zuweilen auch die Algenflora mancher Strandhöhlen. Da in den tieferen Teilen jener Grotten nur wenig Licht vorhanden ist, gedeihen in ihnen zuweilen solche Algen, welche sonst nur in den größeren Meerestiefen vorkommen, wo die Belichtung eine gleich schwache ist. So finden sich beispielsweise, wie die Studien Falkenbergs gelehrt haben, in der nur von wenige Centimeter tiefem Wasser erfüllten Grotta del Tuono bei Neapel Meeresalgen, welche sonst nur aus Tiefen von 50 bis 60 m unter dem Meeresspiegel bekannt sind. Die gesamte bis jetzt beobachtete Strandgrottenflora besteht, ebenso wie die Flora der Landhöhlen, aus Pflanzen, welche auch außerhalb der Höhlen gefunden werden.

II. Höhlenfauna. Im Gegensatz zur Höhlenflora ist die Fauna der Höhlen eine verhältnismäßig große. Es finden sich in ihr Vertreter aus den meisten Gruppen des Tierreiches. Abgesehen von den zahlreichen Troglophilen gibt es auch eine große Reihe echter Höhlenbewohner, welche nur in Höhlen sich finden. Nur diese Troglobien besitzen ein größeres Interesse, insonderheit deswegen, weil sie durch verschiedene Eigentümlichkeiten aus-

gezeichnet sind, welche sie von den verwandten Formen der Außenwelt unterscheiden.

Der in den Höhlen herrschende Mangel an Licht hat nämlich in zweierlei Weise seinen Einfluß auf die Körper der Höhlentiere ausgeübt, und zwar 1. auf die Gesichtsorgane, 2. auf die Farbe der Körperhaut.

Es ist in der Natur eine bekannte Erscheinung, daß die Organe eines Geschöpfes, welche nicht benutzt werden, eine Verkümmerung erfahren: sie werden „rückgebildet" oder „rudimentär". Da die Grottentiere ihres Auges nicht bedürfen, haben sie zuweilen ihre Sehkraft völlig eingebüßt; sie haben teils ihre Augen überhaupt verloren, teils sind die Augen nicht mehr sehfähig. So ist beispielsweise bei dem später noch zu besprechenden Höhlenfisch (Amblyopsis opelaeus) die nur wenig durchscheinende Körperhaut über die kleinen Augen hinweggewachsen, so daß höchstens der Unterschied zwischen hell und dunkel wahrgenommen werden könnte, nicht aber ein Bild auf der Netzhaut des Auges entstehen kann. Gleiches ist bei dem Auge des Grottenolmes (Proteus anguineus) der Fall. Andere Höhlentiere, z. B. der Höhlenkrebs (Cambarus pellucidus), haben gar keine Augen; sie erinnern an die augenlosen Bewohner großer Meerestiefen, welche ebenfalls ihr Augenlicht verloren haben, weil kein Lichtstrahl mehr in jene großen Tiefen hinabdringt. Bei manchen Höhlentieren hat die Rückbildung des Auges eine Verbesserung anderer Organe zur Folge. So ist bei dem Höhlenkrebs beispielsweise das mangelnde Auge durch reichlichere Sinnesborsten — wahrscheinlich Geruchshaare — an den kleineren (inneren) Fühlern ersetzt.

Abgesehen von der, den Höhlentieren eigenen Rückbildung des Auges hat der Lichtmangel auch in anderer Weise gewirkt: die Tiere haben ihre natürliche Körperfarbe verloren, sie sind durchsichtig. Man hat diese Erscheinung, welche auch bei anderen Tieren der Außenwelt abnormer Weise gelegentlich vorkommt, als Albinismus bezeichnet. Da die Hautpigmente eine Folge der chemischen Wirkung des Lichtes sind, ist der Albinismus der in dunkeln Höhlen lebenden Tiere leicht verständlich [1]. Ein

[1] Das Fehlen der Körperfarbe bei vielen Tiefseetieren ist auf die gleiche Ursache, den Lichtmangel, zurückzuführen. Manche Tiefseetiere, z. B. viele Krebsarten, besitzen allerdings starke Färbung, eine

ausgezeichnetes Beispiel hierfür ist wiederum der Olm, dessen durchscheinender Körper schwarze Flecken bekommt und schließlich sogar völlig schwarz wird, wenn er längere Zeit dem Tageslicht ausgesetzt wird — ein Experiment, welches beiläufig den Tod des Tieres zur Folge hat.

Die im folgenden aufgezählten Formen des Tierreiches, welche in Höhlen gefunden sind, geben einen ungefähren Überblick über die Höhlenfauna. Alle diese Tiere tragen in höherem oder geringerem Maße die beiden genannten Eigenschaften der Höhlenbewohner (rudimentäre Sehorgane und Pigmentlosigkeit) zur Schau. Zur Höhlenfauna gehören die Vertreter nachfolgender Gruppen des Tierreiches:

I. **Wirbeltiere** (Vertebrata).

Amphibien: Olm (Proteus anguineus), bekannt aus den Grotten Krains.

Fische: Mehrere Arten in den Höhlen des Kohlenkalkes in Nordamerika, namentlich in der Mammoth Cave in Kentucky; besonders wichtig wegen seiner allgemeinen Verbreitung daselbst ist der Amblyopsis spelaeus, dessen rudimentärer von Körperhaut bedeckter Augen wir bereits gedacht haben.

II. **Wirbellose Tiere** (Invertebrata).

Arthropoden (Gliedertiere). Diesem Stamme des Tierreiches gehören die meisten Troglobien an. Namentlich sind Spinnen, Tausendfüßer und Käfer in der Höhlenfauna vertreten. In dem Höhlenraum am untersten Ende der Trebičhöhle sind allein weit über 100 Käferarten gefunden worden. Alle waren blind. Aus der Mammoth Cave ist auch der Höhlenkrebs bekannt, eine dem Flußkrebs sehr nahestehende, aber blinde Krebsart, die ihres durchsichtigen Körpers wegen als Cambarus pellucidus bezeichnet wird. Auch zahlreiche kleine Krebsarten aus den Ordnungen der Amphipoden (Flohkrebse), Cyclopiden usw. sind in Höhlen gefunden worden.

Mollusken (Weichtiere). Aus diesem Tierstamm gehören einige Schneckenarten der Höhlenfauna an. In ver-

---

Erklärung hierfür ist nicht leicht; möglicherweise besitzen diese unabhängig vom Licht gebildeten Farbstoffe die Eigenschaft der Fluoreszenz und dienen als geschlechtliches Lockmittel.

schiedenen Höhlen im Schwäbischen Jura, so namentlich in der Falkensteiner Höhle bei Urach in Württemberg, sind Formen der Gattungen Paludina und Hydrobia gefunden. Ebendaselbst kommt auch zuweilen die winzige Gattung Zoospeum vor.

Vermes (Würmer). Aus verschiedenen Höhlen Süddeutschlands ist ein weißer Plattwurm (Planaria) bekannt. Würmer scheinen in der Höhlenfauna nur sehr spärlich vertreten zu sein.

Protozoen (Urtiere). Die mikroskopisch kleinen Urtiere finden sich öfters in Höhlen vertreten. Bekannt sind einzelne Vertreter der Gattung Vorticella.

Neben diesen echten Höhlentieren, den Troglobien, sind zahlreiche Troglophilen bekannt, welche auch außerhalb der Höhlen sich finden. Die in Höhlen gefundene Fauna ist, soweit sie bis jetzt bekannt ist, bereits eine sehr beträchtliche. Die Anzahl der bekannten, höhlenbewohnenden Tiere ist aber im ständigen Wachsen begriffen, da immer neue Tierarten in Höhlen aufgefunden werden, so daß die hier gegebene kurze Übersicht über die Höhlenfauna keineswegs etwa den Ausspruch auf irgend welche Vollkommenheit erheben kann.

Von den zeitweiligen Höhlenbewohnern haben wir bereits den Bären, Katzenarten, Fledermäuse genannt. Der Mensch als Höhlenbewohner wird im folgenden Kapitel dargestellt werden [1]).

Die von großen Raubtieren bewohnten Höhlen sind durch die oft ansehnlichen Knochenmassen ausgezeichnet, welche die Überreste des in die Höhle geschleppten Raubes darstellen. Auch die Knochenüberreste der die Höhlen bewohnenden Raubtiere selbst sind oftmals noch wohlerhalten in den Höhlen aufgefunden worden. Die einzelnen Knochen sind häufig durch Kalksinter zu einer festen Knochenbreccie verkittet.

Die Knochenansammlungen jener Knochenhöhlen sind aber keineswegs immer die Reste der Mahlzeiten von Höhlentieren.

---

[1]) Zu den zeitweiligen Höhlenbewohnern gehören beispielsweise auch die Fische des periodischen Sees von Zirknitz. Diese verschwinden mit dem Wasser in die Tiefe und kommen mit diesem bei Überschwemmungen in die Höhe. Über die Lebensweise dieser Tiere unter der Erde ist nichts bisher bekannt geworden.

Wir werden vielmehr im folgenden Kapitel sehen, daß auch durch die Tätigkeit des Höhlenmenschen solche Knochenansammlungen sich bilden können.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Höhlen als Wohnorte der prähistorischen Menschen.

Höhlen als Wohnstätten. — Kulturschichten am Höhlenboden. — Künstliche Veränderungen in Höhlen. — Lebensverhältnisse der Höhlenbewohner. — Höhlen als Zufluchtsorte. — Höhlenfunde und Kulturepochen.

In den ältesten Zeiten des Menschengeschlechtes, wo die Kultur noch nicht in dem Maße vorgeschritten war, daß es dem Menschen möglich gewesen wäre, sich ein festes Haus zu erbauen, um darin dem Wetter oder den Angriffen wilder Tiere bzw. gar Menschen zu trotzen, da haben ihm die Höhlen vielfach als Wohnstätten gedient. Namentlich waren die am schwersten zugänglichen Höhlen bewohnt, weil sich in diesen der Mensch wohl verborgen und somit am sichersten fühlen konnte. Ferner wurden diejenigen Höhlen und Halbhöhlen vom Menschen als Wohnorte bevorzugt, welche nahe einer Quelle lagen, oder aber eine weite Fernsicht gestatteten. Auch nur diejenigen Höhlen waren ehemals bewohnt, welche in genügender Höhe über der Talsohle sich befanden, so daß die Überschwemmungen die Höhlenbewohner nicht stören konnten.

Bei der damals noch spärlichen Bevölkerung konnten die Menschen sehr wählerisch beim Aussuchen einer Wohnstätte vorgehen. Denn unter den Tausenden von größeren oder kleineren Höhlen mußten sie immer welche finden, die ihren Anforderungen entsprachen.

In diesen richtete sich der Mensch häuslich ein. Deutliche Spuren des Feuers, das einst in ihnen gemacht wurde, lassen sich oftmals an den mit Ruß bedeckten oder durch die Hitze rot-

bzw. schwarzgebrannten Wänden der Kalkfelsen erkennen[1]). Der heute meist lehmige Boden der Höhlen mag ehedem wohl mehr festgestampft und durch die Höhlenfeuer in höherem Maße gehärtet gewesen sein als heute.

Auf dem Boden der bewohnten Höhlen sammelte sich allerlei an; so die Küchenabfälle, bestehend aus den abgenagten Knochen erlegter Tiere, der Asche des Herdes usw.; oft mag wohl auch der Mensch sich Heu oder Reisig in die Höhlen getragen haben, um eine weichere Lagerstätte sich zu schaffen; dazu kamen zerbrochene menschliche Artefakte, zufällig hereingetragener Schmutz und verschiedene andere Dinge. Alles dies bewirkte eine zwar nur allmähliche, aber in ihrem Gesamtbetrage doch oftmals recht beträchtliche Erhöhung des Höhlenbodens. Dadurch erklärt es sich, daß die Höhlenausgrabungen oftmals „Kulturschichten“ gefunden haben, deren Mächtigkeit sich auf mehrere Meter belief. Vielfach sind die einzelnen Fragmente, aus denen die Kulturschichten bestehen, mit Kalksinter verkittet, welcher sich aus den in die Höhle eingedrungenen kalkhaltigen Sickerwassern abgeschieden hat.

Abgesehen von dieser unbeabsichtigten Verkleinerung des Höhlenraumes infolge der Aufschüttung von Material auf den Höhlenboden hat der Mensch auch des öfteren völlig zielbewußte Veränderungen in der Höhle vorgenommen. So ist vielfach von Menschenhand ein zweiter Höhleneingang geschaffen worden, oder eine Öffnung in der Höhlendecke ist durch Erweiterung irgend einer Spalte gemacht, damit der Rauch des Herdfeuers besser hinausziehen kann.

Wir können hier nicht die Lebensweise des Menschen in jenen Zeiten und dessen Entwickelung in prähistorischer Zeit, soweit sie durch Höhlenfunde festgestellt ist, eingehend schildern; das ist die Aufgabe der anthropologischen Wissenschaft. Die für uns in Frage kommenden geologischen Spuren menschlicher

---

[1]) Die vielfach etwas eisenhaltigen Kalke werden durch den Einfluß der Wärme gerötet, da die Spuren von Eisen in ihnen in der Form gelblichbrauner, wasserhaltiger Eisenoxyde vorkommen, welche sich beim Erhitzen in rotes wasserfreies Eisenoxyd verwandeln. Die Schwarzbrennung mancher erhitzter Kalke beruht auf einer Verkohlung der Spuren organischer Substanz, welche manchen Kalken in riesigen Mengen beigemischt sind.

Tätigkeit in den Höhlen beschränken sich in erster Linie auf die besprochenen Veränderungen durch den Menschen: das Anwachsen der Sedimente auf dem Höhlenboden infolge der Bewohnung und die künstlichen Veränderungen der Höhlengestalt. Einiges soll indessen vom Leben der Höhlenmenschen auch hier gesagt werden.

Das Leben der Höhlenmenschen (Troglodyten) hat sich wohl in erster Linie außerhalb der Höhle abgespielt. Jagd und Fischfang mag die Beschäftigung der Männer, Bearbeitung der Felle und Zubereitung der Nahrung jene der Frauen gewesen sein. Alle Verrichtungen, zu welchen Tageslicht erforderlich ist, mußten vor der mit meist nur schwachem Dämmerlicht erfüllten Höhle ausgeführt werden. Die Mahlzeiten aber haben, wie es scheint, in der Höhle nahe der Feuerstätte stattgefunden; manche Ausgrabungen haben die Überreste jener Mahlzeiten in den Kulturschichten zutage gefördert. Die Nachtzeit und regnerische Stunden des Tages haben die Höhlenmenschen sicherlich unter dem schützenden Dache ihrer Höhlenwohnung verbracht.

Das Leben in den Höhlen muß ein wenig gesundes für die Menschen gewesen sein. Der Rauch des Feuers, welcher die Höhle — trotz einer vielleicht an der Decke befindlichen Kaminöffnung — zweifellos erfüllte, muß sowohl den Atmungsorganen als auch den Augen in hohem Maße schädlich gewesen sein. Indessen sind selbst die kleineren Höhlen im Vergleich mit den engen, von Zigarrenrauch erfüllten Stuben der jetzigen Landbevölkerung, immerhin gewaltige Räume, só daß der Rauch des Herdes, auf den großen Raum verteilt, doch nicht so schädlich gewesen sein wird, als man dies annehmen möchte. Aber mehr noch als durch den Rauch wurde der Höhlenmensch durch die in den Höhlen herrschende Feuchtigkeit in seiner Gesundheit geschädigt; denn selbst in den allein bewohnbaren, sogenannten „trockenen“ Höhlen ist die Feuchtigkeit doch noch beträchtlich genug, um der Gesundheit nachteilig zu sein. So lassen denn auch oftmals die starken krankhaften Umformungen menschlicher Gelenkknochen jener Zeit auf die sogenannte „Höhlengicht“ (Spondylitis deformans) schließen, welcher selbst jene kräftigen Naturmenschen erlegen waren.

Nachdem die Kultur so weit vorgeschritten war, daß der Mensch sich ein eigenes Haus bauen konnte, da haben auch in

den höhlenreichen Gebieten die Menschen allmählich ihre Höhlenwohnungen aufgegeben, und sich in der fruchtbareren Ebene, teilweise von Ackerbau lebend, angesiedelt.

Von dann ab wurden die Höhlen vielfach als Begräbnisstätten benutzt. Man hat in manchen Höhlen völlige Skelette mit beigegebenen primitiven Schmuckgegenständen oder Gefäßen gefunden. Bemerkenswerte Funde dieser Art sind beispielsweise in den Höhlen des Schweizerbildes im Kanton Basel gemacht worden; in den darin enthaltenen Gräbern haben sich Überreste einer einst vorhanden gewesenen Pygmäenrasse gefunden, wie sie auch heute noch auf Ceylon (Weddas), in Zentralafrika (Akkas), ferner vereinzelt auf Sizilien und in anderen Ländern vorkommen.

In noch späteren Zeiten, wo die Menschen sich bereits zu Völkern geschart hatten, da haben die Höhlen als Schlupfwinkel für Geächtete gedient. Zur Zeit der „heiligen“ Inquisition gab es beispielsweise auch in Deutschland zahlreiche Männer und Frauen, welche sich in Höhlen vor den Spionen der christlichen Kirche versteckt hielten. Manche Höhlen führen auch heute noch Namen wie Teufelshöhle, Hexenloch usw., welche an die unglücklichen Opfer der Kirche erinnern, die sich in ihnen verbargen [1]).

Auch in Kriegszeiten sind die Menschen vielfach in die vom landesunkundigen Feinde schwer auffindbaren Höhlen geflohen. So haben sich noch im Jahre 1845 in den Dahragrotten in Algerien etwa 400 Araber verborgen gehalten, welche, wie bekannt, der französische General Pélissier, der nachmalige Herzog von Malakow, durch Feuer ersticken ließ. Während die Höhlen in den Kulturländern in späterer Zeit nur noch in Zeiten der Gefahr aufgesucht wurden, ist in anderen Ländern, z. B. einigen Teilen Zentral- und Südamerikas, der Mensch noch bis in die Neuzeit der Weltgeschichte hinein Höhlenbewohner geblieben. Man kann daher nicht allgemein alle in Höhlen gefundenen Reste

[1]) Das Unheimliche der Höhlen ist im Volksbewußtsein auch heute noch nicht ganz gewichen. So haben noch im Jahre 1892 viele Tausende von frommen Katholiken den Ausführungen des Dr. Karl Hacks (Pseudonym: Bataille) Glauben geschenkt, nach welchen in Höhlen des Gibraltarfelsens verschiedene Teufel unter Leitung des Direktors Tubalkain beschäftigt sind, die Erzeuger furchtbarer Krankheitsepidemien herzustellen.

menschlicher Wohnstätten als „prähistorisch“ — wenigstens nicht von unserem Standpunkte aus — bezeichnen.

Man nennt das Kulturstadium, in welchem die Höhlenbewohner sich befinden, nach ihren zumeist aus Stein angefertigten Waffen und Gerätschaften die Steinzeit. In Mitteleuropa liegt die Steinzeit weit zurück. Es ist gelungen, die geologische Zeitperiode zu ermitteln, während welcher die „Steinzeit“ sich abspielte. Man hat nämlich die Steinzeit in eine ältere und eine jüngere einteilen können. Die ältere oder paläolithische Zeit fällt in die jüngste vergangene geologische Periode, die Diluvialperiode. Zur Zeit der großen diluvialen Vergletscherungen großer Teile Europas — also während der sogenannten Eiszeiten — war der Mensch bereits vorhanden [1]). Man kennt Überreste des Menschen, Beile, Messer, Speerspitzen und andere Artefakte aus paläolithischer Zeit. Skelettreste des Menschen gehören dagegen zu den größten Seltenheiten. Gleichwohl sind aber auch Knochenreste des diluvialen Menschen gefunden worden; so in der Höhle des Neandertales bei Bonn, in der Grotte von Spy und La Naulette in Belgien, in neuerer Zeit bei Krapina in Kroatien und an anderen Orten.

Wohl zu unterscheiden von der paläolithischen Zeit ist die jüngere Steinzeit oder das Neolithicum. Die Überreste jener jüngeren Periode verraten durch die Feinheit der Steinwerkzeuge eine weit höhere Kulturstufe. Der neolithischen Periode entstammen die weitaus meisten prähistorischen Reste des Menschen, welche in den Höhlen von Franken und Schwaben, der Alpen und Mitteldeutschlands gefunden wurden.

An die Steinzeit schließen sich die späteren Entwickelungsperioden der menschlichen Kultur an, die sogenannte Bronzezeit und die ältere Eisenzeit. Die Kenntnis der beiden zuletzt genannten Zeitalter ist durch Höhlenfunde kaum in nennenswerter Weise gefördert worden. Es ist wohl anzunehmen, daß in diesen

[1]) Nicht mit Sicherheit ist der „tertiäre“ Mensch aus der Tertiärperiode der Erde erwiesen, wenn auch viele Anzeichen, z. B. ganz besonders roh behauene oder zum Teil gar nicht behauene Steine, welche aber Spuren der Benutzung zum Schlagen oder Werfen erkennen lassen, die sogenannten Eolithe, die Anwesenheit denkender Wesen — vielleicht Menschen, vielleicht sehr hochstehender Menschenaffen? — wahrscheinlich machen.

Perioden der Mensch bereits imstande war, gute künstliche Wohnstätten sich zu schaffen, und daß er somit die Höhlen als bleibende Aufenthaltsorte für immer verlassen hatte.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Kulturarbeit in den Höhlengebieten. — Geschichte der Höhlenkunde.

Mißliche Verhältnisse für die Bodenkultur der Karstländer. — Überschwemmungen der Poljen. — Regulationsarbeiten. — Bildung der Bodenkrume infolge Aufforstung. — Einfluß der Bodenkrume auf die Verkarstung. — Verminderung der Tiefenentwässerung infolge Aufforstung. — Schäden der Entwaldung in Karstgebieten. — Dreifache Wirkung des Baumwuchses auf die Bodenkrume. — Schwierigkeiten der Aufforstung. — Geschichtliche Entwickelung der Kunde von den Höhlen und Karstphänomenen. — Altertum bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts. — Joh. Friedr. Esper. — Rosenmüller. — Leibniz. — Kant. — Cuvier, Goldfuss, Buckland. — Schmidl. — Dawkins. — v. Hauer, v. Moijsisovics, Tietze. — Iwan Cvijič. — A. Grund. — Fr. Kraus. — E. A. Martel. — Gesamtüberblick des Standes unserer Kenntnis von den Höhlen. — Beschluß: Landschaft und Eigenart der Höhlenländer.

Wir haben in den vergangenen Kapiteln den wissenschaftlichen Teil der Höhlenfunde kennen gelernt. Wir mußten hinsichtlich der Entstehung von Höhlen zwischen ursprünglichen und später gebildeten unterscheiden; die zuletzt genannte Gruppe, die der später gebildeten Höhlen, ist, wie wir gesehen, die am meisten vertretene, und zwar von diesen sind es wiederum diejenigen, welche durch die Korrosion des Wassers in Kalk- oder Dolomitgesteinen gebildet sind. In den Gegenden, deren geologischer Untergrund aus jenen Gesteinsarten zusammengesetzt ist, finden sich die Höhlen oftmals so zahlreich, daß man geradezu von Höhlengebieten reden kann. Wir haben das Höhlenphänomen daselbst als eine Teilerscheinung einer größeren Gruppe von geologischen Erscheinungen kennen gelernt, welche man unter dem

Namen „Karstphänomene" vereinigt. Die Karstphänomene, deren wichtigstes die Höhlen sind, bilden sich, wie gezeigt wurde, stets da heraus, wo ein vom Wasser chemisch angreifbares Ge-

Fig. 41.



Ein Stück Karstoberfläche bei Adelsberg.

stein durch Gebirgsdruck stark zerklüftet ist. Höhlen und Höhlenflüsse, Dolinen und Kesseltäler haben wir als Zeugen der Verkarstung kennen gelernt.

Die Probleme, welche jene Karstphänomene der Wissenschaft stellen, sind bereits eingehend erörtert worden. Die Verkarstung ist aber auch vom praktischen Standpunkte aus des eingehenden Studiums sehr wohl würdig. Denn in der Hydrographie eines Landes äußert sich die Verkarstung, wie bekannt, durch das Überwiegen der Vertikal- oder Tiefenentwässerung gegenüber der sonst üblichen Horizontal- oder Oberflächenentwässerung. Nun wird durch die Tiefenentwässerung die Bodenkultur der Karstgebiete naturgemäß empfindsam geschädigt. Denn auf den zahlreichen Klüften des Karstes wird das gesamte Wasser der Niederschläge sofort in die Tiefe geleitet. Infolgedessen herrscht auf der Oberfläche die größte Wasserarmut. Der Boden einer typischen Karstlandschaft ist daher schon wegen seiner großen Trockenheit nahezu völlig steril. Abgesehen davon fehlt den verkarsteten Gebieten aber auch die Verwitterungskrume, welche in anderen Länderstrecken die Ackererde bildet; sie wird hier, sobald sie gebildet, von den Niederschlägen in die Tiefe gerissen, so daß überall der kahle Fels zutage tritt. Unsere Abbildung (Fig. 41) stellt ein Stück der trostlosen Karstwüste dar. Aber nicht genug damit, daß die verkarsteten Hochflächen dem Ackerbau entzogen sind, nein, auch in den natürlichen Senken des Karstplateaus, den Talungen, kann nur spärlich der Ackerbau gedeihen, obwohl es hier weder an lockerer Erde noch an Wasser fehlt. Denn jene Senken werden oftmals durch Hochwasser überschwemmt. Wir haben bei unseren Ausführungen über Höhlenflüsse diese Überschwemmungen und ihre Entstehung eingehend erörtern müssen.

Angesichts jener Einschränkungen, welche der Wohlstand eines Landes durch die Verkarstung erfährt, ist es wohl erforderlich, in Erwägung zu ziehen, ob der Mensch nicht imstande ist, die ungünstigen Naturverhältnisse künstlich vorteilhafter zu gestalten. So oft hat es der Mensch vermocht, durch Dämme und Kanäle, durch Reservoirs und Pumpwerke die Bewässerung eines Gebietes derart zu regulieren, daß der Ackerbau weder durch Überschwemmungen noch durch Trockenheit leidet. Sollte dies nicht auch in Karstgebieten möglich sein?

Man hat auch in der Tat viele Versuche unternommen, die Bewässerungsverhältnisse zu regulieren. Namentlich glaubte man

durch Erweiterung der Abflußöffnungen — der Ponore — in den Kesseltälern die durch Rückstau des Wassers an den unzureichenden Abzugsventilen entstehenden Überschwemmungen verhindern zu können. Man hat damit auch gewisse Vorteile erreicht; so beispielsweise bescheunigtes Ablaufen des Hochwassers. Aber die **Entstehung** des Hochwassers hat man **nicht** verhindert; immer wieder werden die an sich fruchtbaren Niederungen der Karstlandschaft nach niederschlagsreichen Zeiten von Überschwemmungen heimgesucht.

Theoretisch könnte man die Schäden der Überschwemmungen durch Anlage größerer Reservoirs zur Aufnahme des Hochwassers verhindern; in der Praxis ist dies aber im allgemeinen nicht auszuführen, da diese künstlichen Becken allzu groß werden müßten, so daß es sich nicht verlohnen würde, sie anzulegen. Wollte man beispielsweise die Überschwemmungen im Seepolje von Zirknitz verhindern, so müßten die künstlichen Entwässerungsanlagen weit über 50 Millionen Cubikmeter aufnehmen. Man könnte daher nur gewisse Teile eines Überschwemmungen ausgesetzten Kesseltales für dauernd auf diese Weise trocken legen; immerhin wäre aber, je nach den Umständen, auch damit vielleicht etwas gewonnen.

Wirksamer aber, als solche Kunstbauten, wäre ein anderes Mittel, nämlich eines, welches darauf hinzielt, das Anschwellen der Poljenflüsse überhaupt zu verhindern. Ein solches Mittel wäre die künstliche Aufforstung der verkarsteten Hochflächen.

Wir wissen, daß die in Karstgebieten herrschende Tiefenentwässerung die Spuren von Ackererde in die Tiefe reißt. Wenn man nun durch geeignete Bepflanzung dies verhindern könnte, so wäre damit die erste Vorbedingung zur Nutzbarmachung des Bodens der Karstgebiete gegeben. Denn einmal wird von den Pflanzenwurzeln die vorhandene Verwitterungskrume festgehalten, sodann wird aber auch durch die chemische Wirkung der das Gestein zersetzenden Pflanzensäfte neues Verwitterungsmaterial gebildet. Wir wissen nämlich, daß die Karstgesteine niemals wohl chemisch reiner Kalk oder Dolomit sind, sondern sie enthalten stets gewisse Mengen anderer Mineralbestandteile; diese sind es dann in erster Linie, welche die Verwitterungserde zu-

sammensetzen, da sie schwerer löslich sind, als der Kalk bzw. Dolomit.

Die Pflanzenwurzeln halten diesen Verwitterungsrückstand an der Oberfläche fest; es bildet sich so allmählich eine den Boden gleichmäßig bedeckende Schicht von Ackererde, welche anfangs natürlich sehr dünn ist, die aber mit der Zeit soweit anwachsen kann, daß große Bäume darin ihre Wurzeln schlagen können. Es ist nun Sache einer verständigen Forstkultur, die Baumarten auszusuchen, welche am meisten zur „Karstaufforstung" geeignet sind. Im Krainer Karst wird in der teilweise in Körben herbeigetragenen Bodenkrume die Kiefer gepflanzt und nach einigen Jahren, sobald diese herangewachsen, in ihrem Schutz als Unterholz die Tanne. Später wird die Kiefer entfernt und die Tanne allein gepflegt. Man hat so im Laufe des letzten Jahrhunderts bereits große Flächen des Karstbodens bebaut. Unsere Abbildung (Fig. 42) stellt eine verkarstete Fläche des Adelsberger Karstes dar. Im Hintergrunde ist ein bereits völlig bewaldeter Höhenzug zu sehen, dessen Aufforstung erst vor etwa 30 Jahren begonnen hatte. Ehedem war der Waldboden ebenso beschaffen wie die kahle, nur von kümmerlichen Pflanzen bestandene Karstfläche des Vordergrundes.

Die Aufforstung der verkarsteten Hochflächen ist nun von hoher Bedeutung für die hydrographischen Verhältnisse des Karstes. Es dringt nämlich nicht mehr das gesamte Wasser der Niederschläge in die Tiefe, sondern es wird ein großer Teil desselben von der Ackerkrume aufgesogen und von der Vegetation verbraucht. Die Wassermenge, welche ein großer Wald zur Sommerzeit abgibt — also durch die sogenannte Transpiration verliert — zählt nach vielen Tausenden von Cubikmetern[1]). Diese Wassermenge wäre doch sonst in die Tiefe gedrungen und hätte ein Anschwellen der Grundwasserströme zur Folge gehabt. Wenn aber die Grundwasserströme anwachsen, dann treten in den Niederungen des Karstes Überschwemmungen ein. Da nun durch die Aufforstung

[1]) Der Verbrauch einer Buche von mittlerer Größe (50 bis 60 Jahre alt) an Wasser erreicht während der Vegetationsperiode durchschnittlich 10 kg pro Tag. Da auf einem Hektar (= 3 Morgen = 4 Tagwerk) etwa 1300 Bäume dieser Größe sich befinden, so verliert ein Wald von dieser Fläche während der gesamten Vegetationsperiode des Jahres 2 300 000 kg Wasser, d. i. 2300 cbm. Vgl. Ramann, Forstkultur usw.

bedeutend weniger Wasser in die Tiefe gelangen kann, so können auch die Hochwasser nicht so oft mehr vorkommen. Wie wir



Fig. 42.

Kahle Karstfläche in der Nähe von Adelsberg; im Hintergrunde Karstaufforstung.

sehen, wirkt also allein schon der Wasserverbrauch einer Waldvegetation auf den verkarsteten Hochflächen

regulierend auf das unterirdisch fließende Wasser, dessen ungleichmäßig starkes Hervortreten dem Wohlstande in den Karstniederungen so nachteilig ist.

Abgesehen von diesem direkten Einfluß der Aufforstung auf die hydrographischen Verhältnisse der Karstgebiete, kommt noch ein zweiter indirekter hinzu, welcher in hohem Maße günstig ist. Es wird nämlich durch die im Walde sich ständig bildende Bodenkrume ganz allmählich der Verkarstungsprozeß aufgehalten und schließlich sogar gänzlich gehemmt. Denn die Ackererde wird, sobald sie sich reichlich bilden kann, die Spalten anfüllen oder verstopfen, so daß die Vertikalentwässerung eingeschränkt wird. Durch die Abnahme der Vertikalentwässerung wird wiederum das Anschwellen der Grundwasserströme verhindert und somit werden auch die so großen Schaden verursachenden Überschwemmungen unmöglich gemacht.

Wir kommen somit zu dem Ergebnis, daß es keineswegs als aussichtslos zu bezeichnen ist, wenn man versucht, auch die völlig verkarsteten Gebiete nutzbar zu machen. Wenn in den an sich fruchtbaren Niederungen der Ackerbau unbehindert durch Überschwemmungsgefahr gedeihen soll, dann muß auf den Höhen ringsherum großer Waldbestand vorhanden sein. Es ist, wie wir sagten, gelungen, auf großen verkarsteten Landstrecken Wald anzupflanzen; es werden, wenn die Aufforstung fortgesetzt wird, auch die segensreichen Folgen der Waldkultur auf die Verteilung des Wassers nicht ausbleiben.

Wenn die Nutzbarmachung der Karstgebiete durch eine dem Verkarstungsprozeß entgegenarbeitende Bodenkultur immer weiter fortgeschritten sein wird, dann müssen wir aber eine andere Folgeerscheinung im Auge behalten, welche eine völlige Umwertung des Bodens verursacht: es wird infolge des Zurücktretens der Vertikalentwässerung und Zunehmens der Oberflächenentwässerung schließlich kein unterirdisches Abfließen des Wassers aus den Poljen mehr möglich sein. Wenn dies der Fall ist, dann müssen die Poljenniederungen zu Seebecken werden, deren Wasser so lange ansteigt, bis es einen oberirdischen Abfluß gefunden hat.

An Stelle der ehemaligen Höhlenflüsse, welche die Poljen entwässerten, treten dann echte subaerische Flüsse auf, und die Karstlandschaft verliert ihr eigenartiges Gepräge. Nur diese oder jene Höhle wird dann auf das Verkarstungsphänomen hinweisen, welches einst daselbst geherrscht hat.

Die Zeiträume, während welcher solche Veränderungen sich vollziehen, sind nicht zu bestimmen; nach menschlichem Maß gemessen werden sie wohl recht beträchtlich sein. Indessen hat man jetzt schon vielerorts die nützlichen Folgen der Bewaldung auf die hydrographischen Verhältnisse des Landes erkennen können.

Andererseits hat man umgekehrt oftmals den schädlichen Zuwachs erkannt, den die Verkarstung durch Entwaldung erfährt, so z. B. im südlichen Frankreich. Dort waren, so lange das Land in den Händen des Adels sich befand, große Waldungen vorhanden; als aber nach der großen Revolution der Adel geflohen oder dem Blutdurst der Jakobiner zum Opfer gefallen war, da hat der Pöbel sich daran gemacht, den Gegenstand Jahrhunderte langer Pflege, den Wald, schonungslos oft ohne irgend welchen nennenswerten Nutzen zu verwüsten. Die Folgen dieser Zerstörungswut sind auch nicht ausgeblieben; so die Überschwemmungen in den Niederungen, Anhäufungen von Geröll und Sand in den Flußbetten usw.; im Gebirge selbst, wo die Entwaldung stattfand, da nimmt die Verkarstung ständig ihren Fortgang. So kommt es, daß große Teile der Cevennen durchaus den Eindruck einer Wüste machen. Auch im Departement Vaucluse sind durch die Waldverwüstungen große Schäden entstanden; auf den zahlreichen Spalten des Kalkgebirges wird die gesamte, sich alljährlich bildende Bodenkrume in die Tiefe gerissen, so daß die Oberfläche steril ist.

Auch in den österreichischen Karstländern stand in alten Zeiten viel Wald; schon zur Römerzeit begannen die ersten Abholzungen zum Zweck des Schiffsbaues; später hat die Venezianische Republik den Waldbestand verbraucht und durch schlechte Waldwirtschaft eine Wiederaufforstung unmöglich gemacht. Man glaubt wohl nicht mit Unrecht, daß seit jener Zeit die mißlichen hydrographischen Verhältnisse sich immer mehr verschlimmert hätten. Sicher ist, daß eine Besserung zu erkennen ist, seit die Karstaufforstung immer größeren Umfang erreicht hat.

Ganz abgesehen von dem Einfluß, den die Waldvegetation auf die Hydrographie und auf die Umwandlung des Fels in Ackerkrume ausübt, kommt noch eine weitere Wirkung in Betracht, durch welche die Aufforstung der Verkarstung entgegen arbeitet; das ist der Windschutz, den der Wald dem Gebirge gewährt. Es klingt dies beinahe paradox, und dennoch ist dem so: denn der Wind führt einem unbewachsenen Gebirge alle jene Verwitterungsprodukte, welche sich auf der Oberfläche des Gesteins bilden, als Staub hinweg. Anders aber in aufgeforsteten Gebieten; hier wird der Staub von den Bäumen aufgefangen und schlägt sich an den Blättern nieder, um, mit diesen zu Boden fallend oder vom Regen hernieder geschwemmt, wiederum zur Bildung der Ackerkrume beizutragen.

Wir haben nach dem Gesagten eine dreifache Wirkung des Baumwuchses auf die Ackerkrume:

1. Eine konservierende; denn die Wurzeln bewahren die Verwitterungskrume vor Fortführung durch Wasser oder Wind.
2. Eine neubildende Wirkung; es bilden sich durch die chemische Kraft der in den Pflanzenwurzeln enthaltenen Säfte Verwitterungsprodukte, welche die Ackerkrume zusammensetzen.
3. Eine auffangende Wirkung; hierunter verstehen wir die zuletzt genannte Eigenschaft der Baumkronen, den Staub aufzufangen, welcher ebenfalls beim Herniederfallen zu Ackerkrume wird.

Da das Vorhandensein der Bodenkrume den Fortgang der Verkarstung wesentlich hemmt, so geht daraus abermals hervor, wie wichtig der Baumwuchs ist, um die Schäden der Verkarstung niederzudrücken.

In der Aufforstung der Karstgebiete erblicken wir die einzige Möglichkeit, das Land in ergiebiger Weise auszunutzen. Aber die Aufforstung ist mit großen Opfern erkauft. Nur wenige Privatbesitzer sind in der Lage, dies zu tun; und selbst dann, wenn die Regierung die Kosten übernimmt, wie dies in Österreich geschieht, so hat der einzelne dennoch großen Schaden. Denn auch der Karstboden, den der Eigentümer auf 30 bis 50 Jahre hergeben muß, hat, wie wir gleich sehen werden, einen gewissen Wert, wenigstens für die arme Bevölkerung

jener Länder. An dem kümmerlichen Gestrüpp, das in den Felsritzen wuchs, konnten Schafe oder Ziegen immer noch hinreichende Nahrung finden — diese Haustiere dürfen aber nicht mehr gehalten werden, weil sie den jungen Baumwuchs zerstören würden. Ferner befinden sich überall Dolinen, deren Boden, wie bekannt, von der recht fruchtbaren roten Erde des Karstes erfüllt wird, auf welcher einige Obstbäume oder etwas Getreide gezogen werden kann. Wenn nun den an sich schon armen Leuten der Viehstand genommen und ein Teil des Besitzes zur Aufforstung entzogen wird, so kann es nicht wundernehmen, daß dem einfachen Manne die Karstaufforstung verhaßt ist. Es legen bedauerlicherweise zahlreiche böswillig angelegte Waldbrände Zeugnis von dieser seiner Mißstimmung ab. Man ersieht hieraus, mit wie großen Schwierigkeiten die Kulturarbeit in Höhlengebieten zu kämpfen hat; man kann daher nur in hohem Maße anerkennen, daß es dennoch der österreichischen Regierung gelungen ist, durch Aufforstung große Strecken des verkarsteten Landes der Kultur zurückzugewinnen.

Aus dem wenigen hier Gesagten können wir erkennen, wie tief die scheinbar doch nur wissenschaftlichen Probleme, welche uns das Karstphänomen stellt, oftmals in Wirklichkeit auch die wichtigsten Fragen des täglichen Lebens berühren. Wir haben geglaubt, auch hierüber zum Schluß einiges mitteilen zu müssen, um das Bild, das wir von der weittragenden Bedeutung der Karstphänomene, oder was dasselbe bedeutet, des Höhlenphänomens — denn auf das Höhlenphänomen sind ja alle anderen der sogenannten Karstphänomene zurückzuführen — entworfen haben, zu vervollkommnen.

Zum Schluß wollen wir nur noch in kurzer Schilderung die Entwickelung unserer Kenntnis über das Höhlenphänomen und die sich daran angliedernden anderen Karstphänomene darstellen.

Seit den ältesten Zeiten hatte man Kunde von den Höhlen, die im Innern der Gebirge vorkommen; indessen eine „Höhlenkunde“, eine wissenschaftliche Kenntnis von den Höhlen hatte man nicht. Diese begann erst, als man an der Hand von Beobachtungen Studien über die Entstehung der Höhlen machte. Es hat zwar auch im Altertum nicht an Theorien gefehlt, welche die Entstehung der Höhlen erklären sollten; man findet sie gelegent-

lich bei den älteren Autoren angedeutet. Teils glaubte man die Höhlen als Gasblasen im Gestein auffassen zu müssen, teils führte man sie auf Erdbeben zurück. Auch verschiedene andere Theorien, die heute kaum noch historisches Interesse beanspruchen können, sind gelegentlich aufgestellt worden. Aber keine dieser Ansichten ist jemals, ernstlich auf wirkliche Beobachtungen gestützt, ausgesprochen worden. Die Alten sind eben niemals große Beobachter gewesen, sondern sie haben sich darauf beschränkt, Spekulationen zu machen.

Im ganzen Mittelalter haben, wie bekannt, fast alle Zweige der Naturwissenschaft geruht; es kann uns daher auch nicht wundernehmen, daß die Höhlenkunde, welche noch niemals ein wirkliches wissenschaftliches Gewand getragen hatte, keine weiteren Fortschritte erfahren hat — sind doch selbst viele einst wirklich hoch entwickelte Zweige der Wissenschaft in jener keineswegs immer „sternenhellen Nacht“, welche das Mittelalter darstellt, untergegangen. Man kannte die Höhlen und begnügte sich nicht einmal damit, sie gelegentlich zu beschreiben, sondern glaubte, dem Sinne der Zeit entsprechend, noch allerhand von den in ihnen „naturgemäß“ vorkommenden Geistern aussagen zu müssen. Nun kam noch hinzu, daß die Höhlen wiederholt von kirchlich geächteten Personen, Hexen und Unholden als Zufluchtsstätten benutzt wurden, deren Geister auch nach ihrem Tode die Höhlen erfüllen sollten. Diese Meinung erklärt das Grauen, welches die Menschen vor den Höhlen hatten. Immerhin wurde dieses Grauen durch die Gewinnsucht vieler verwegener Leute besiegt — fanden sich doch in vielen Höhlen die Reste vorweltlicher Tiere, deren Knochen nach Ansicht der damaligen Gelehrten hohe Heilkraft haben sollten und dementsprechend hoch bezahlt wurden. Jene Leute haben naturgemäß die Höhlen so grausig und gefahrvoll wie möglich geschildert, damit nicht etwa andere ihnen in dieser einträglichen Beschäftigung Konkurrenz machen würden. Aber die Zeit der Aufklärung sollte auch in die Kunde von den Höhlen allmählich kommen. In der Mitte des 18. Jahrhunderts lebte in Franken der Pfarrer und Superintendent Esper. Dieser unternahm in größerem Umfange, als dies bisher geschehen war, Ausgrabungen von Knochen vorweltlicher Tiere; er untersuchte eine große Reihe von Höhlen und versuchte dabei sich eine Theorie über die Entstehung von Höhlen

zu bilden[1]). Esper stand ganz unter dem Einfluß jener Gelehrten aus dieser Zeit, welche alle fossilen Tierreste als Zeugen der Sündflut auffaßten. Da die in den Höhlen aufgefundenen Knochenreste, größtenteils wenigstens, ausgestorbenen Tieren angehörten, glaubte Esper, daß die Fluten der Sündflut, die „Diluvialfluten", sie in die Höhlen geschwemmt hätten. Esper glaubte auch die Entstehung der Höhlen selbst auf die erodierenden Kräfte jener Diluvialfluten zurückführen zu müssen. So irrig diese Auffassungen auch in Wirklichkeit sind, so stellen sie doch den ersten Versuch dar, eine auf wirklich gemachte, wenn auch falsch gedeutete Beobachtungen gestützte — also wissenschaftliche Erklärung des Höhlenphänomens zu geben. Jener Autor erhebt sich dadurch weit über seine Zeit, denn es war damals viel mehr üblich, lange und oftmals sehr ermüdende Beschreibungen zu geben, als sich an wissenschaftliche Erklärungsversuche zu wagen; so geißelte 30 Jahre nach Esper der Leipziger Professor der Heilkunde Joh. Christian Rosenmüller in seinem Werke: „Abbildungen und Beschreibungen merkwürdiger Höhlen um Muggendorf im bayreuthischen Oberlande 1796" das Unterfangen, in so schwierigen Fragen Theorien sich zu machen, wo doch allein die Beschreibung von Höhlen von Nutzen sei. Gleichwohl hat auch Rosenmüller in seinem späteren, mit Tillesius gemeinschaftlich herausgegebenen Werke „Beschreibung merkwürdiger Höhlen, Leipzig 1805", die verschiedenen, oft geradezu als „abenteuerlich" zu bezeichnenden Theorien zur Erklärung des Höhlenphänomens erörtert. Jetzt kommt diesen Werken nur noch historisches oder für das betreffende Höhlengebiet selbst lokales Interesse zu.

Mit der fortschreitenden geologischen und chemischen Erkenntnis brachen mehr und mehr gesunde Anschauungen über das Höhlenphänomen und dessen Entstehung durch. Es ist übrigens bemerkenswert und interessant zu sehen, wie richtige Vorstellungen über einzelne Zweige der Höhlenkunde sich ältere Gelehrte gemacht haben. So hat bereits Leibniz den Vorgang der Tropfsteinbildung in der Baumannshöhle durchaus richtig

---

[1]) Johann Friedrich Esper, Ausführliche Nachricht von neuentdeckten Zoolithen unbekannter vierfüßiger Tiere und denen sie enthaltenden, sowie anderen denkwürdigen Grüften der obergebirgischen Lande des Markgrafentums Bayreuth. Nürnberg 1774.

erkannt und erklärt. Anch Immanuel Kant schildert diesen Vorgang sehr anschaulich, obwohl er nie in seinem Leben Gelegenheit gehabt hatte, eine Höhle zu sehen. In seiner physischen Geographie sind auch über verschiedene andere, das Höhlenphänomen betreffende Punkte bemerkenswerte Ausführungen gemacht. So führt bereits Kant die Entstehung vieler Höhlen auf Ausspülungen durch Wasser zurück. Neben verschiedenen richtigen Anschauungen finden sich allerdings auch zahlreiche falsche Auffassungen vertreten, welche eben durch den mangelhaften Stand der damaligen Beobachtungen zu erklären sind.

Im Beginn des 19. Jahrhunderts wurden in Deutschland, England und Frankreich verschiedene bedeutende Höhlenfunde gemacht, von welchen die Werke von Cuvier, Goldfuss und Buckland Zeugnis ablegen.

In England hat sich um die Erforschung der Höhlen namentlich vom anthropologischen und paläontologischen Standpunkte W. Boyd Dawkins sehr verdient gemacht, dessen „Höhlenjagd“ 1876 auch ins Deutsche übertragen wurde.

Bei den vielen Untersuchungen, die in Höhlengebieten vorgenommen werden, brach sich immer mehr die Erkenntnis Bahn, daß die Höhlenbildung allein auf die chemische und mechanische Kraft des Wassers zurückzuführen sei.

Namentlich haben die kühnen Höhlenforschungen in den damals noch ungenügend bekannten Krainer Höhlen, welche der unermüdliche, leider nur zu früh verstorbene Dr. Adolf Schmidl vorgenommen hat, viel dazu beigetragen, das wissenschaftliche Verständnis der Höhlenkunde zu fördern. Die Höhlen des Karstes waren zwar schon lange zuvor bekannt, keineswegs aber wissenschaftlich erforscht, und es ist das Verdienst von Adolf Schmidl, durch seine systematisch vorgenommenen Untersuchungen und Vermessungen von den größten Höhlen des Karstes die Aufmerksamkeit auf dieses für die Höhlenkunde stets klassische Gebiet zu lenken.

Mit der Erforschung der Höhlen des Karstes ging naturgemäß die der übrigen Karstphänomene Hand in Hand. Und eine große Literatur, die sich namentlich an die Namen v. Hauer, v. Moijsisovics, Tietze knüpft, gibt Zeugnis von dem großen wissenschaftlichen Interesse, das an der Erforschung der Karstphänomene genommen wurde.

Die Studien der zuletzt genannten Geologen beziehen sich insonderheit auch auf das merkwürdige Phänomen der Dolinen und Poljen. Wir sind in den vergangenen Seiten bereits auf die verschiedenen Ansichten hierüber eingegangen.

In neuerer Zeit ist das Karstphänomen Gegenstand der Studien von Iwan Cvijič und Alfred Grund geworden. Die Studien beider Gelehrten, namentlich des letzteren, tragen aber dem Höhlenphänomen im Verhältnis zu den übrigen Karstphänomenen sicherlich viel zu wenig Rechnung. Demgegenüber haben wir im vorhergehenden die Höhlen als das vornehmste aller der Karstphänomene kennen gelernt; und wir haben gesehen, daß alle anderen Karstgebilde auf das Höhlenphänomen zurückgeführt werden müssen. Von der Kenntnis der Höhlen ausgehend können wir, wie gezeigt wurde, alle anderen Karstphänomene erklären und begreifen.

Wenn wir die Geschichte der Höhlenkunde bis in die neueste Zeit verfolgen, so dürfen wir auch nicht zweier Männer vergessen, welche durch unermüdlichen Fleiß sich ausgezeichnet haben, um die Kenntnis von den Höhlen zu verbreiten; der eine derselben ist der jetzt verstorbene französische Rechtsanwalt E. A. Martel, der andere der ebenfalls verstorbene k. k. Regierungsrat Franz Kraus.

Aus der Feder des letzteren besitzen wir eine „Höhlenkunde“, eine in erster Linie zwar kompilatorische Arbeit, welche jedoch eine Menge trefflicher Abbildungen enthält und durch eingehende Literaturnachweise in hohem Maße nützlich ist. Daneben finden sich aber in dem Werke auch eine Reihe eigener wissenschaftlicher Beobachtungen, welche auch dem Fachmanne von großem Nutzen sein können.

Von E. A. Martel besitzen wir eine Reihe von größeren und kleineren Arbeiten, unter welchen das große Werk „Les Abîmes“ das ausgezeichnetste ist. Es werden in diesem Werke, das mit teilweise prächtigen Illustrationen versehen ist, die verschiedenen Höhlengebiete Frankreichs, welche großenteils durch Martels eigene Arbeiten bekannt geworden sind, beschrieben und ferner die Karstländer von Krain, Istrien und Griechenland, in welchen Martel ebenfalls Höhlenfahrten gemacht hat, in kurzer Zusammenfassung dargestellt.

Überblicken wir nun zum Schluß den Stand unserer Kenntnis über die von uns hier behandelten Probleme von den Höhlen und den übrigen Karstphänomenen, so kommen wir zu folgenden Ergebnissen: Die Lehre von der Entstehung der Höhlen dürfte in ihrer Gesamtheit als feststehend angesehen werden; nur in den Einzelheiten, und zwar ganz besonders in den die anderen Karstphänomene betreffenden, sind noch strittige oder zweifelhafte Punkte vorhanden. So ist namentlich die Entstehung des eigenartigsten aller Karstphänomene, der Höhlenflüsse, in den Einzelheiten unsicher. Wir haben die Höhlenflüsse als aus Grundwasserströmungen entstanden zu erklären versucht. Daß damit aber ein neues Problem der Forschung gestellt wird — nämlich das der Entstehung von Grundwasserströmen —, darüber sind wir uns völlig klar gewesen. Daher haben wir auch diesem Rechnung getragen. Das Problem der Meeresschwinden dürfte durch unsere Ausführungen wohl genügend erörtert sein; das gleiche gilt von den Dolinen. Dagegen bedarf das Poljenphänomen, d. i. das Problem der Entstehung der eigenartigen Kesseltäler des Karstes, noch weiterer Spezialuntersuchungen.

Der Höhlenbildung in unverkarstetem Gestein haben wir ihrer geringeren Bedeutung wegen nur kurz gedacht; wir haben gesehen, daß sich ihrem Verständnis keinerlei Schwierigkeiten entgegenstellen.

Das Karstphänomen ist hier naturgemäß in erster Linie vom geographisch-geologischen Gesichtspunkte aus betrachtet worden. Daß aber das Karstphänomen, insonderheit dessen wichtigster Teil, das Höhlenphänomen, auch mit zahlreichen anderen Zweigen der Naturwissenschaften in Berührung tritt — darauf haben wir kurz hingewiesen; wir müssen jedoch, weil dies außerhalb des Rahmens unserer Darstellungen liegt, auf Spezialuntersuchungen verweisen.

Ungleich wichtiger ist die Frage nach der Nutzbarmachung der verkarsteten Gebiete; dieser praktischen Frage haben wir in der ersten Hälfte unseres Schlußkapitels Beachtung geschenkt. Wir glauben, daß es einer geeigneten Bodenkultur doch gelingen wird, auch die unwirtlichen Karstwüsten allmählich nutzbar zu machen.

Das Bild, welches wir in der vorliegenden Monographie von einem der interessantesten Abschnitte der physischen Geographie

entworfen haben, es möge weiteste Kreise anziehen und die Aufmerksamkeit auf eine Landschaft lenken, welche — auch vom künstlerischen Gesichtspunkte aus beurteilt — der Schönheit nicht entbehrt. Einleitend haben wir jene Landschaft geradezu als „Karstlandschaft" bezeichnet. Fehlendes Grün, fehlende Ackererde, nackte Gesteine, tiefe Spalten in den Felsen, Höhlen in den Bergen und Dolinen an der Oberfläche — das ist das Bild, das sich dem Reisenden in den Karstgebieten darstellt. Aber jene Landschaft vermag es sehr wohl, denjenigen, der Sinn für großartige Natur hat, anzuziehen und zu begeistern, wenn sie auch des Schauervollen oft nicht ganz entbehrt. Daher möchten auch wir im Hinblick auf die Naturschönheiten, welche namentlich im Krainer Karst sich finden, das Höhlenland mit dem von den Südslaven für Karst gebrauchten Worte „Kras" bezeichnen; denn Kras bedeutet soviel wie Schönheit und Pracht. Schön und prächtig kann auch der Karst durch die wundervollen Lichteffekte sein, die allen vegetationsarmen Gebieten so eigen sind.

Was aber die Oberfläche auch an Schönheit zu bringen vermag, das übertreffen in der Tiefe an geradezu majestätischer Pracht die Höhlen. In ihren riesigen Hallen werfen tausende von schneeweißen Tropfsteinen in den mannigfachsten Formen das Licht zurück. Unwillkürlich erwachen die Erinnerungen an die Sagen der Alten, an Kobolde, an Zwerge, an den Venusberg.

Aber jene oft gewaltig großen und hohen Höhlen, deren schwarze, des Tropfsteinschmuckes entbehrenden Gesteinswände als einzigen Ton in der sonst lautlosen Tiefe das oftmals durch Echo hundertfach erhöhte Rauschen eines Flusses widerhallen — sie erinnern uns an das schwarze Bild, das sich die Alten von der Unterwelt machten.

Aber nicht beschreiben kann man die Höhlen, man muß sie sehen und wieder sehen. Dies ist zugleich die wissenschaftliche Methode. Nur durch immer wieder erneute Beobachtung hat sich die Teilwissenschaft der Erdkunde herausgebildet, welche wir hier dargelegt haben: die Höhlenkunde.

